UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL

ANÁLISE DE MEDIDAS PARA EFICIENTIZAÇÃO E USO RACIONAL DA ENERGIA ELÉTRICA EM CONDICIONADORES DE AR

CARMELINA SUQUERÊ DE MORAES

PROF. DR. ROBERTO APOLÔNIO

Cuiabá - MT, fevereiro de 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL

ANÁLISE DE MEDIDAS PARA EFICIENTIZAÇÃO E USO RACIONAL DA ENERGIA ELÉTRICA EM CONDICIONADORES DE AR

CARMELINA SUQUERÊ DE MORAES

Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para obtenção do título de Mestre.

PROF. DR. ROBERTO APOLÔNIO

Cuiabá - MT, fevereiro de 2013.

M827a
Moraes, Carmelina Suquerê de.
Análise de Medidas para Eficientização e Uso Racional da Energia Elétrica em Condicionadores de Ar./ Carmelina Suquerê de Moraes. Cuiabá: UFMT, 2013.
175 fls.

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental – UFMT, 2013.
Orientador: Prof. Dr. Roberto Apolônio

1.Automatização. 2.Eficiência Energética.
3.Condicionadores de Ar. I.Título.

CDU 624:504

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título: ANÁLISE DE MEDIDAS PARA EFICIENTIZAÇÃO E USO RACIONAL DA ENERGIA ELÉTRICA EM CONDICIONADORES DE AR

Aluna: CARMELINA SUQUERÊ DE MORAES

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO APOLÔNIO

Aprovado em 22 de fevereiro de 2013.

Prof. Dr. Roberto Apolônio
Coordenador do PPGEEA

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Apolônio
Universidade Federal de Mato Grosso - FAET/UFMT
Orientador

Prof. Dr. Ronan Marcelo Martins
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT
Examinador Externo IFMT

Prof. Dr. Marcelo Mendes Vieira
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT/*Campus* Rondonópolis
Examinador Interno UFMT

Prof. Dr. Mário Kiyoshi Kawaphara
Universidade Federal de Mato Grosso - FAET/UFMT
Examinador Interno UFMT

DEDICATÓRIA

Ao Senhor Jesus, pela oportunidade que colocou em minhas mãos, ao meu esposo Jean Carlo Menero, pelo amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Roberto Apolônio, pela orientação e confiança, e pela sua infinita paciência.

A todos os professores do Programa de Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, sempre dedicado na multiplicação do conhecimento.

Aos meus pais, Nelson e Mariana que sempre me apoiaram nos momentos mais difíceis, incentivando e motivando.

Aos bolsistas do Programa de Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso Luciana Oliveira da Silva pelo auxilio nas simulações, e ao Grupo de Pesquisa de Eficiência Energética pelas instalações de todo o sistema de automatização.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS **4**
LISTA DE TABELAS **7**
RESUMO **9**
ABSTRACT **10**
1 INTRODUÇÃO **11**
1.1 PROBLEMÁTICA **11**
1.2 JUSTIFICATIVA **13**
1.3 OBJETIVOS **15**
1.4 ESTADO DA ARTE **15**
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO **17**
2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES **19**
2.1 A AUTOMAÇÃO VISANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA **24**
3 AUTOMAÇÃO **27**
3.1 AUTOMAÇÃO PREDIAL **28**
3.2 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL **30**
3.3 FUNCIONAMENTO **31**
3.3.1 Protocolos de Comunicação 35
3.3.2 Sistemas comerciais dedicados à automação 37
3.3.3 Controle de Subsistemas 40
3.3.4 Sistema Modular empregado na pesquisa 45
4 O CONDICIONADOR DE AR **47**
4.1 TIPOS DE CONDICIONADORES DE AR **51**
4.2 CONFORTO TÉRMICO **53**
4.3 CARGA TÉRMICA **54**
4.3.1 Método de Negrisoli (1987) 56
4.3.2 Estimativa da Carga Térmica de Verão (CREDER, 2004a). 57
4.3.3 Método do Creder (2004b). 58
4.3.4 NBR 16401/2008 Instalações de Ar Condicionado - Sistemas Centrais e Unitários 62
4.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA CARGA TÉRMICA PELO *ENERGYPLUS* **68**
4.5 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS (RTQ-C) NO REQUISITO CONDICIONADOR DE AR. **69**
5 METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO **72**
5.1. ÁREA DE ESTUDO **72**
5.2. MATERIAIS **78**
5.2.1 Medidor de Energia 79
5.2.2 Bancada com módulos de automação 80

5.2.3 Programas computacionais para programação dos módulos. 82

5.3. METODOLOGIA 83
5.3.1 Medições 83
5.3.2 Cálculo da Carga Térmica. 83
5.3.4 Simulação Computacional no *Software Energyplus*. 84
5.3.5 Nível de Eficiência Energética da Edificação no requisito condicionador de ar. 88
5.3.6 Estratégias para o comando dos condicionadores de ar. 89
5.3.7 Viabilidade econômica das medidas de eficientização empregadas 92

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS 94

6.1. ANÁLISE ENERGÉTICA DAS SALAS DE AULA SEM AUTOMATIZAÇÃO 94

6.2. ANÁLISE DOS MÉTODOS PRESCRITIVOS DE CARGA TÉRMICA 100

6.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA CARGA TÉRMICA NO *ENERGYPLUS*. 104

6.4. CLASSIFICAÇÃO DA EFICIENCIA ENERGÉTICA DOS CONDICIONADORES DE AR SEGUNDO O RTQ-C. 112

6.5. ANÁLISE DAS MEDIDAS PARA UTILIZAÇÃO RACIONAL DA ENERGIA ELÉTRICA NOS CONDICIONADORES DE AR. 116
6.5.1 Automatização de acordo com o período de uso das salas de aulas-Estratégia 1 . 116
6.5.2 Automatização de acordo com o cronograma de utilização das salas de aulas - Estratégia 2. 119
6.5.3 Comparação das medidas de eficientização 121

6.6. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DAS MEDIDAS EMPREGADAS. 125

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 130

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 133

8 REFERÊNCIAS 134

8.1 REFERÊNCIAS CITADAS 134

8.2 REFERÊNCIAS CONSULTADAS 144

APÊNDICES 147

APÊNDICE A 147

APÊNDICE B 156
B1) - Parede de tijolo cerâmico de 21 furos, com revestimento somente em uma face. 156
B2) - Paredes duplas de tijolos cerâmicos de 21 furos, com revestimento somente em uma face. 159
B3) Divisórias de madeira (0,008m): 161
B4 Viga de concreto (0,15m) 161
B5) Laje de piso 162
B6) Laje de concreto (0,20m) 163
B7) Cobertura composta de laje de concreto (0,20m) e cobertura de telha de fibrocimento (0,008m). 163
B8) Cobertura composta de forro de PVC (7mm) e telha de fibrocimento. 165
B9) Vidro Comum (0,004m) 166

APÊNDICE C 167
C1) NEGRISOLI (1987) 167
C2) CREDER (2004b). 169
C3) NBR 16401/2008 172

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de energia elétrica por setores no Brasil. 12

Figura 2 – Consumo de energia elétrica nos Prédios Públicos..... 22

Figura 3 - Arquitetura do SSCP. 29

Figura 4 - Diagrama dos blocos de um sistema de automação. 31

Figura 5– Topologia de rede distribuída 32

Figura 6: Topologia de Rede. 33

Figura 7– Diferenças entre instalação elétrica convencional, automatizada e híbrida. 34

Figura 8– Arquitetura Centralizada. 38

Figura 9– Arquitetura distribuída. 39

Figura 10– *Dimmers* 40

Figura 11– Circuito Fechado de televisão 43

Figura 12– Biometria 44

Figura 13– Percentuais de consumidores por tarifa de fornecimento no Brasil 48

Figura 14– Aparelho de ar condicionado de janela 51

Figura 15– Diagrama de um ar condicionado do tipo *split* 52

Figura 16 – Transmissão do calor solar através de vidro. 59

Figura 17– Localização da Universidade Federal de Mato Grosso. 72

Figura 18– Bloco da Engenharia Elétrica no campus da UFMT. 73

Figura 19– Parede do bloco da Engenharia Elétrica. 73

Figura 20– Sombreamento bloqueando a incidência da radiação solar direta nas salas. Pavimento Superior 74

Figura 21– Planta Baixa da edificação em estudo – Pavimento térreo e superior 74

Figura 22–Elementos da edificação. 75

Figura 23– Cobertura. 75

Figura 24– Telhado. 76

Figura 25– Edificação em estudo 76

Figura 26 – Quadros elétricos de força; (a) quadro principal de distribuição de energia; (b) quadro terminal que alimenta dos condicionadores de ar 77

Figura 27– Condicionadores de ar (ASB30A1) 77

Figura 28– Analisador de Energia MARH-21. 79

Figura 29– Módulos de Automação 80

Figura 30– Esquema de ligação dos módulos. 81

Figura 31– Led para identificação de funcionamento das salas 82

Figura 32– Representação do modelo do Bloco de Engenharia Elétrica da UFMT. 85

Figura 33– Comparação entre o modelo computacional e a edificação real. 85

Figura 34– a) Quadro terminal, b) Detalhe do quadro de comando dos condicionadores de ar. 90

Figura 35 – Detalhe dos módulos da automação, composto de: *task, switch, relay* e *web*. 91

Figura 36 – Diagrama funcional da automatização dos condicionadores de ar. 91

Figura 37– Consumo de energia elétrica do período de medição. 95

Figura 38–Consumo semanal de energia elétrica do período de medição. 96

Figura 39– Demanda máxima e mínima durante o período de medição. 98

Figura 40 – Medição de potência ativa (KW) a partir das 18h00min do dia 22 de setembro até as 07h30min do dia 24 de setembro de 2010. 99

Figura 41 – Modelagem da envoltória e zonas internas da edificação sob estudo. 104

Figura 42 – Temperatura externa *versus* temperaturas das salas de aulas simuladas com condicionador de ar *split* para o dia 22 de dezembro. 106

Figura 43 – Temperatura externa *versus* temperaturas das salas de aulas simuladas para o dia 22 de dezembro. 106

Figura 44 – Carga térmica máxima de um ar *split* simulada no *Energyplus* ao longo do ano. 107

Figura 45 – Carga térmica máxima de um ar *split* simulada no *Energyplus* para o dia 22 de dezembro com temperaturas de solos diferentes. 111

Figura 46 – Consumo de energia dos condicionadores de ar sem automatização *versus* com automatização de acordo com os turnos das aulas. 117

Figura 47 - Medição de potência ativa (KW) do dia 23 de setembro de 2011. 118

Figura 48 – Medição de potência ativa (kW) do dia 2 de dezembro de 2011. 120

Figura 49 – Consumo (kWh) dos três períodos de medição. 122

Figura 50 – Medição de potência ativa (kW) dos três períodos de medições referente a uma sexta-feira. 123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potencial de Redução do Consumo de Energia com o Uso de Sensores de Presença..... 41

Tabela 2: Fator para carga térmica em função do volume do recinto. 56

Tabela 3: Fator para a carga térmica em função da área das janelas..... 56

Tabela 4: Estimativa da carga térmica de verão..... 57

Tabela 5: Propriedades térmicas dos materiais. 59

Tabela 6: Coeficiente de transmissão do calor solar através de vidros (fator solar). 60

Tabela 7: Acréscimo ao Diferencial de Temperatura - Δt em ºF e em ºC. 61

Tabela 8: Absortividade em função da cor. 65

Tabela 9 – Tabela INMETRO – Condicionador de ar 71

Tabela 10 – Tabela INMETRO – Condicionador de ar Split..... 71

Tabela 11 – Características das salas 75

Tabela 12 – Especificação técnica *Fujitsu* ASB30A1 e AOB30A1..... 77

Tabela 13: Dados dos materiais de construção. 86

Tabela 14: Classificação Final com relação ao número de pontos (PT) 89

Tabela 15 - Consumo de energia elétrica no período de um mês de medição. 95

Tabela 16 - Consumo médio de energia elétrica semanal durante o período de medição..... 97

Tabela 17- Consumo de energia elétrica para os dias da semana - Uso no horário normal e nos intervalos. 97

Tabela 18– Comparação entre potência instalada e o resultado dos métodos prescritivos de carga térmica. 101

Tabela 19 – Carga térmica simulada no *Energyplus* de um ar *split*, para o dia 22 de dezembro. 105

Tabela 20– Carga térmica máxima de um ar *split* simulada no *Energyplus* para cada um dos meses do ano.. 108

Tabela 21– Comparação dos métodos prescritivos de carga térmica *versus* simulação no *Energyplus*..... 108

Tabela 22– Temperaturas do solo calculadas através do programa *Slab*, consideradas na simulação. 110

Tabela 23: Levantamento dos condicionadores de ar. 113

Tabela 24: Cálculo da eficiência energética de ambiente com unidades condicionadoras de níveis de eficiência iguais. 114

Tabela 25: Cálculo da eficiência energética de ambiente com unidades condicionadoras de níveis de eficiência diferentes. 114

Tabela 26– Cálculo de eficiência energética da edificação no requisito condicionador de ar. 115

Tabela 27–Consumo de energia elétrica (kWh) no período de 1 mês de medição sem automatização *versus* com automatização de acordo com o turno das aulas. 116

Tabela 28– Consumo de energia elétrica no período de 1 mês de medição sem automatização e com automatização de acordo com o cronograma de horário de ocupação das salas. 119

Tabela 29–Consumo de energia elétrica no período de 1 mês de medição com automatização de acordo com cada medida de eficientização. 121

Tabela 30– Demanda média para cada estratégia de automatização *versus* sem automação. 123

Tabela 31: Valor investido na estratégia 1. 126

Tabela 32: Valor investido na medida de automatização de acordo com o cronograma de aula. 127

RESUMO

MORAES, C. S. **Análise de medidas para eficientização e uso racional da energia elétrica em condicionadores de ar.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental), Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

O objetivo principal desta pesquisa é analisar o emprego da automação em condicionadores de ar utilizados em salas de aulas visando o uso racional da energia elétrica. Apresenta-se inicialmente um levantamento das potências instaladas dos condicionadores de ar em cada uma das salas, que são comparadas com a potência necessária através de métodos prescritivos de cálculo da carga térmica e com os resultados da simulação computacional obtidas com o uso do software *Energyplus*. Na busca de soluções que visem uma melhoria quanto ao uso racional da energia elétrica, a pesquisa apresenta medições de potência ativa em cinco salas de aulas, com acionamento convencional, isto é, sem nenhuma interferência no sistema, em comparação ao acionamento automatizado por períodos de uso e posteriormente, com acionamento controlado através do cronograma de ocupação das salas de aulas. Os dados foram coletados através das medições nos quadros de distribuição que alimentam os condicionadores. Os resultados das medições de energia mostraram o funcionamento de condicionadores de ar fora de horário de aula, visto que, nesta situação o consumo de energia elétrica é significativo, pode ser reduzido com o emprego da automatização do funcionamento dos aparelhos.

Palavras-Chave: Automatização, eficiência energética, condicionadores de ar.

ABSTRACT

MORAES, C. S. **Analysis of measures for efficiency improvement and rational use of electricity in air conditioners.** Dissertation (Master in Environmental Engineering and Building), Faculty of Architecture, Engineering and Technology, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

The main objective of this research is to analyze the use of automation in air conditioners used in classrooms to encourage rational use of electricity. Presents a survey of the initially installed power of the air conditioners in each room, which are compared with the power required by methods prescriptive calculation of the heat load and the results obtained by computer simulation using the software EnergyPlus. In search of solutions aimed at improving on the rational use of electricity, the study presents measurements of active power in five classrooms, with a conventional drive, that is, without any interference in the system, compared to automated driving for periods of use and subsequently to drive controlled by the schedule of occupancy of the classrooms. Data were collected through measurements on distribution boards feeding conditioners. The measurement results show the operation of air conditioners out of school hours, whose significant consumption of electricity, can be reduced with the use of automation of the operation of the equipment.

Keywords: Automation, energy efciciency, air conditioners.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

A energia está na origem de uma parte importante dos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente. A relação otimizada entre a energia e o meio ambiente se insere em uma das maiores preocupações mundiais sobre a evolução do planeta e das responsabilidades da nossa geração no uso correto desta relação como um legado de vida saudável e harmoniosa para as futuras gerações (KRAUSE et al. 2002). No Brasil, cerca de 76,9% do suprimento de energia elétrica do país provém de geração hidráulica (Balanço Energético Nacional – BEN 2010), e o consumo de energia elétrica que no mês de setembro de 2011 apresentou 36,69 GWh, ficando 4,4% acima do registrado em setembro de 2010 (Empresa de pesquisa energética, 2011) e por isso, uma melhor utilização dos recursos já existentes torna-se uma necessidade, tanto para o consumidor quanto para o setor elétrico, pois com a redução do consumo através do combate ao desperdício de energia, posterga-se investimentos do setor elétrico e evita-se agressões ao meio ambiente.

A participação do consumo de energia elétrica tem aumentado gradativamente em diversos setores, conforme mostrado na Figura 1.

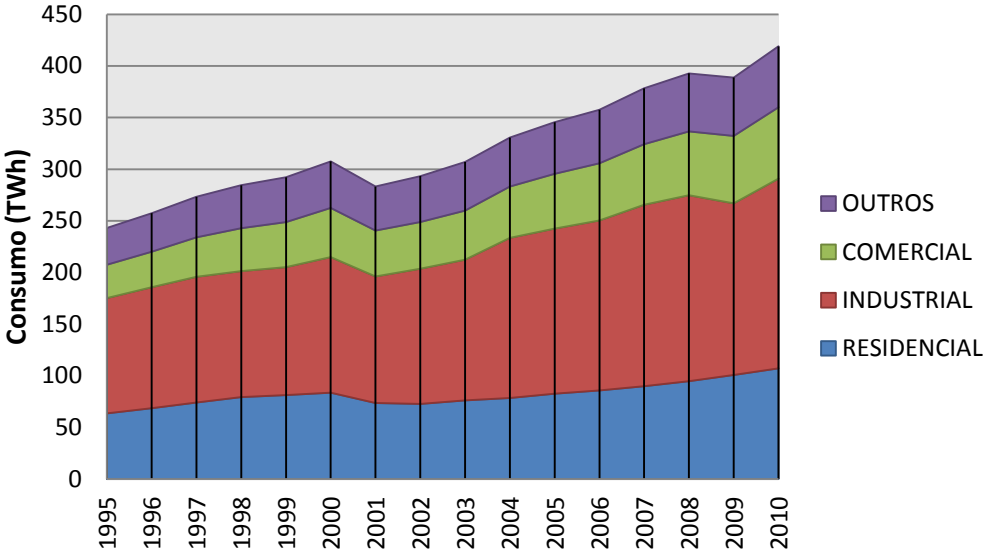


Figura 1 – Consumo de energia elétrica por setores no Brasil.
Fonte: Balanço Energético Nacional (2010)

Tratando-se de edifícios, Lamberts et al. (1997) afirmam que um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com um menor consumo de energia. Esta preocupação na obtenção de edifícios energicamente eficientes não é algo passageiro, mas um fator permanente de desempenho a ser considerado nas equações ambientais e financeiras. As características do uso de energia em edificações vêm mudando ao longo dos anos. Estudos recentes apontam uma divisão do consumo em edifícios entre as seguintes cargas: 48% pelo condicionamento de ar, 23% pela iluminação, 15% por equipamentos de escritório e 14% devido às demais cargas, como bombas e elevadores (PROCEL. 1, 2007). Uma vez que o consumo dos aparelhos condicionadores de ar dentro de uma edificação é bastante significativo, este trabalho está direcionado no sentido da especificação correta do aparelho em função da carga térmica do recinto e no emprego da automação para o uso racional da energia. Há a possibilidade dos edifícios se tornarem mais eficientes através de reformas (*retrofitting*) que consiste na adaptação tecnológica das instalações elétricas, hidráulicas e dos principais equipamentos instalados nos edifícios, porém se não houver o controle no uso não se chegará à economia desejada.

Outro fator que influencia no consumo da energia elétrica em edifícios são os hábitos dos usuários, como exemplos podem-se citar os hábitos de sair dos recintos e

deixar as lâmpadas, ou equipamentos ligados (tv's, som, ventiladores, micros, etc.); o ajuste de aparelhos de ar condicionado e geladeiras para temperaturas muito baixas; o uso de iluminação artificial em locais passíveis de iluminação natural; a realização de serviços de limpeza em edifícios de escritórios à noite, mantendo-se todo prédio iluminado durante esse período, etc., ou seja, este número de horas de uso por semana ou por mês de um equipamento influencia significativamente na intensidade de uso de energia em um edifício e a redução destas horas de uso torna-se necessária, pois equipamentos que não possuem controle são mais suscetíveis a serem deixados ligados. Assim, um controle do uso dos condicionadores, de acordo com o horário de funcionamento dos recintos, evita-se o uso inadequado e o desperdício da energia.

Enfim o consumo consciente e inteligente de energia reduz os gastos com este insumo; isto é, maximiza os investimentos já efetuados no sistema, ampliando ao longo do tempo os recursos renováveis e não renováveis ainda disponíveis (BRAGA, 2007).

1.2 JUSTIFICATIVA

A preocupação com o controle dos gastos com energia ocorreu inicialmente na década de 1970 em virtude da crise do petróleo. Desde então, países como Estados Unidos, França e Portugal alcançaram reduções significativas no consumo energético de suas instalações, com a criação das primeiras regulamentações a respeito do desempenho energético em edificações. No Brasil, a partir do racionamento de energia elétrica em 2001, o poder público e a opinião civil direcionaram suas preocupações para a redução do consumo de eletricidade por meio de programas e leis de eficiência energética. Entende-se por eficiência energética a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia, isto é, um edifício é mais eficiente energeticamente que o outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (LAMBERTS et al. 1997).

Conservar energia não é racionar, não implica na perda da qualidade de vida, conforto e segurança que a energia elétrica proporciona, não compromete a produtividade ou desempenho da produção. Conservar energia é eliminar desperdícios,

usufruir de tudo que a energia elétrica proporciona, sem gastos desnecessários conforme aponta Isolani et al. (2008).

A utilização exacerbada de condicionadores de ar nas edificações justifica-se pelo clima local, isto é, pela zona bioclimática na qual a edificação está inserida. Em pesquisa, Durante et al. (2009) apontam que a satisfação dos alunos com o ambiente físico das salas de aula está mais diretamente relacionada às condições de temperatura do que de iluminação. Existem estratégias que podem ser empregadas como, por exemplo, a ventilação, porém esta estratégia não pode ser aplicada em todas as zonas e em todos os períodos do ano, levando assim a necessidade do uso do condicionador. A cidade de Cuiabá está inserida na zona bioclimática 7, com temperatura média anual de 26,8°C, com média das máximas de 42°C e médias das mínimas de 15°C, umidade relativa do ar média de 78% e insolação total média de 2.179 horas conforme Leão (2007). De acordo com a carta bioclimática a insuficiência das estratégias passivas para o clima de Cuiabá deve ser suprida em 8,55% das horas de desconforto com o condicionador de ar. Em se tratando de edifícios públicos, objeto de estudo desta pesquisa, em particular o bloco da Engenharia Elétrica no campus Cuiabá, localizado dentro da Universidade Federal de Mato Grosso, que possui aparelhos de condicionamento de ar que são acionados, livremente sem qualquer controle. Essa situação vem ocasionando altos consumos e funcionamentos fora dos horários de aulas previstos. Em meio a isto, o emprego de um sistema que controle o uso dos condicionadores de ar através de programação de ativações e desligamentos com horários pré-definidos justifica-se, visando o controle da energia elétrica e o uso racional dos equipamentos.

1.3 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo analisar como o emprego da automação em condicionadores de ar pode contribuir na economia de consumo e ao uso racional da energia elétrica. Para o alcance do objetivo proposto, pretende-se especificamente:

a) Avaliar a demanda e o consumo da energia elétrica dos condicionadores de ar do edifício em estudo.
b) Analisar a carga térmica dos ambientes refrigerados através de métodos presentes na literatura brasileira, de acordo com a norma NBR 16401-3/2008 e *ASHRAE Handbok of Fundamentals*, e através de simulação computacional com o *Energyplus*.
c) Aplicar o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-C) no requisito condicionador de ar.
d) Analisar as diferentes possibilidades de automação e controle para condicionadores de ar.
e) Implementar o sistema de automação e realizar medições.
f) Analisar a viabilidade econômica dos sistemas de automação empregados.

1.4 ESTADO DA ARTE

De acordo com Silveira & Santos (2002), historicamente, o surgimento da automação está ligado com a mecanização, sendo muito antigo, remontando época de 3500 e 3200 a.C., com a utilização da roda. O objetivo era sempre o mesmo, o de simplificar o trabalho do homem, de forma a substituir o esforço braçal por outros meios e mecanismos, liberando o tempo disponível para outros afazeres, valorizando o tempo útil para as atividades do intelecto, das artes, lazer ou simplesmente entretenimento.

O emprego da automação iniciou-se na indústria e devido à necessidade de mercado, ressurgiu com sistemas mais voltados para edificações. Em decorrência do avanço da microeletrônica, a automação ganhou espaço com o surgimento do CLP (Controlador Lógico Programável) na década de 60, que substituíram os painéis de

comando a relés. O emprego dos CLPs permitiu reduzir o consumo de energia nos painéis, a manutenção, modificações de comandos, e as onerosas alterações na fiação.

Nos anos 90, programas de computadores foram criados com a tentativa de obter maior produtividade, qualidade e competitividade. Dentro desta visão de integração entre o chão de fábrica e o ambiente corporativo, decisões dentro do sistema organizacional de produção passam a ser tomadas dentro do mais alto grau do conceito de qualidade, baseado em dados concretos e atuais que se originam nas mais diferentes unidades de controle. Neves (2002), em sua pesquisa relata que os motivos que impulsionaram a expansão da automação nas edificações foram principalmente à procura de fórmulas para economia de energia, juntamente com a administração eficaz do seu consumo, além da grande redução nos custos dos equipamentos de informática. De acordo com Bolzani (2010), a automação predial foi baseada na indústria, que em virtude da diferente realidade entre as suas funções, criaram-se sistemas dedicados para ambientes onde não se dispõe de espaço para grandes centrais controladoras e extensos sistemas de cabeamento.

O marco inicial da automação residencial ocorreu na Escócia em 1975, pelos engenheiros da empresa Pico *Eletronics* que desenvolveram um sistema de automação doméstica, denominada de X10, utilizando-se da rede elétrica como meio de comunicação, que permite controlar remotamente os aparelhos e luzes de qualquer habitação. Segundo Castro (2009), a automação surgiu pela busca aprimorada de conforto e mobilidade em habitações, aliada a recursos tecnológicos advindos da eletrônica de baixa potência e microondas, que possibilitou o surgimento da Domótica ou AR (automação residencial).

Atualmente, tem-se uma variedade de fabricantes e sistemas voltados para a automação em geral. No Brasil o mercado da automação está em ascensão desde 1992, em decorrência do fim da reserva de Mercado de Informática, várias empresas construtoras passaram a produzir edifícios com maiores números de funções controladas. Devido a esta variedade, é importante conhecer o que se deseja controlar para uma escolha eficaz do sistema a ser empregado, pois, existem sistemas que integram os diversos subsistemas dentro de uma edificação (serviços, áudio, vídeo, controle de acesso e climatização) e sistemas compactos que controlam os subsistemas

por ambiente, no capítulo 3 será discorrido sobre os diversos sistemas existentes no mercado de maneira mais aprofundada.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado nos seguintes capítulos:

O capítulo 1 apresenta a introdução, objetivo geral e específico, bem como a problemática, justificativa e estado da arte do trabalho.

O capítulo 2 faz uma revisão bibliográfica sobre a eficiência energética nas edificações, bem como emprego da tecnologia da automação para fins energéticos, relatando seu histórico, leis e as primeiras iniciativas quanto à eficiência energética em uma visão mundial e no Brasil.

O capítulo 3 apresenta a revisão bibliográfica da automação, do seu surgimento nas indústrias e o seu emprego nas edificações. Descreve sobre a automação predial e residencial, seu funcionamento, protocolos de comunicação, enfatizando como a automação pode ser aplicada de forma eficiente nas edificações através de pesquisas já realizadas.

O capítulo 4 dedica a revisão bibliográfica sobre o condicionador de ar, seus tipos e funcionamentos, bem como sobre o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética para Edifícios Comerciais, de serviços e Públicos (RTQ-C) no requisito condicionador de ar. Descrevem métodos utilizados para o cálculo da carga térmica, encontrados na literatura técnica, o método prescritivo na NBR 16401-1/2008 e o software *Energyplus*.

No capítulo 5 descreve a metodologia empregada na pesquisa, identificando a área de estudo, materiais e equipamentos utilizados na pesquisa.

O capítulo 6 apresenta a análise dos resultados das medições realizadas, bem como os resultados dos cálculos de carga térmica através de três métodos distintos presentes na literatura nacional, da NBR 16401-1/2008, do programa *Energyplus* e a viabilidade econômica dos sistemas empregados.

O capítulo 7 foi dedicado as considerações finais da presente pesquisa. Além disso, as propostas de trabalhos futuros e sugestões relativas ao tema que vem a promover o uso racional da energia elétrica.

Nos apêndices encontram-se os cálculos relativos à programação dos módulos de automação, cálculos da resistência e transmitância térmica dos elementos da edificação, assim como, as planilhas de cálculos realizadas em cada método prescritivo referente a uma sala de aula.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES

De acordo com Clasp (2004a), acredita-se que os primeiros padrões mínimos obrigatórios de eficiência energética foram instituídos na Polônia em 1962, associados a equipamentos industriais. Na França, o governo adotou padrões para refrigeradores em 1966 e para *freezers* em 1978. Nas pesquisas de Silva (2008), há relatos que outros governos europeus e a Rússia introduziram, nas décadas de 60 e 70, legislação obrigatória sobre eficiência energética, com programas de desempenho e de etiquetas informativas. A maior parte dessa legislação era deficiente e foi implementada com falhas, o que concorreu para que essas medidas tivessem poucos impactos no consumo de energia elétrica dos eletrodomésticos. Os primeiros padrões de eficiência energética que realmente afetaram os fabricantes e reduziram de forma significativa o consumo de energia ocorreu em 1976 no estado da Califórnia – USA. Esses padrões iniciaram sua vigência em 1977. No começo do ano 2000, 43 países (incluindo 15 países membros da União Européia) adotaram pelo menos um padrão obrigatório de eficiência energética; no ano de 2004 este número aumentou para 55 países.

No Brasil, algumas iniciativas de promoção da racionalização do uso da energia elétrica surgiram a partir da década de oitenta. Em 1981 surge o Programa CONSERVE, sendo o primeiro esforço em termos de conservação de energia, visando à promoção da eficiência energética na indústria, ao desenvolvimento de produtos e processos energeticamente mais eficientes, e ao estímulo a substituição de equipamentos importados (JANNUZZI, 2000). Em 1985 é criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, sob a coordenação da Eletrobrás. Em 1993 foi desenvolvido pelo PROCEL, o Programa Selo PROCEL de Economia de Energia (PSP), um programa voluntário com os objetivos de orientar os consumidores e estimular a fabricação e comercialização de produtos mais eficientes no país. No ano seguinte foram estabelecidos, em conjunto com fabricantes, consumidores

(representados pelo Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor – IDEC e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO), os critérios para a concessão do Selo, sua marca e as bases para a realização de todo esse processo. Em 1995, já apareciam no mercado brasileiro os primeiros produtos com o Selo PROCEL: os refrigeradores de uma porta, de duas portas ou combinados e *freezer* vertical (CARDOSO, 2008). Considerando sua participação no consumo de energia elétrica nacional, foram incorporadas as categorias: *freezer* horizontal, aparelhos de ar condicionado de Janela, motores elétricos trifásicos até 10 cv (hoje abrangendo até 250 cv), coletores solares planos para aquecimento de água para banho e piscina e reservatórios térmicos. Recentemente as máquinas de lavar roupa e televisores mais eficientes também receberam o Selo PROCEL (SILVA, 2008).

Em 24 de julho de 2000, foi promulgada a Lei nº 9.991 (BRASIL, 2000a) que estabelece que as empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica devem aplicar um percentual mínimo da receita operacional líquida de 0,5% em Programas de Eficiência Energética (PEE). No ano seguinte, em 17 de outubro de 2001, foi publicada a Lei 10.295 (BRASIL, 2001b) sobre eficiência energética, já determinando o estabelecimento de níveis máximos de consumo específico de energia ou mínimos de eficiência energética para os equipamentos fabricados ou comercializados no país, baseada em indicadores técnicos, prevê também, que sejam desenvolvidos mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações; em 19 de dezembro de 2001 foi publicado o Decreto nº 4.059 (BRASIL, 2001c) que regulamenta a Lei nº 10.295, onde no seu artigo 3º estabelece a competência do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE para instituir os indicadores e os níveis de eficiência energética, sob a coordenação do Ministério das Minas e Energia - MME.

A escassez de água nos reservatórios das usinas hidroelétricas juntamente com o crescimento contínuo do consumo de energia foram fatores que contribuíram com o racionamento da energia elétrica ocorrida no Brasil em 2001. Nesse contexto, deve-se ressaltar que em outubro de 2003 foi criado um Plano de ação para Eficiência em Edificações (PROCEL Edifica), que visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações brasileiras. Como consequência direta deste plano, ocorreu em 2009 o lançamento do Regulamento Técnico da

Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C, cuja primeira revisão foi oficializada em setembro de 2010. Adicionalmente, lançou-se em novembro de 2010 o RTQ-R, aplicado às residências.

As edificações possuem um lugar de destaque no consumo total da energia elétrica. Investimentos focados neste setor são justificados pelo aumento cada vez maior no consumo da energia elétrica. Em pesquisa, Kasinski et al. (2010) afirmam que o setor de construção civil é responsável pelo consumo de 30% de todos os recursos extraídos da natureza, representando globalmente 40% de toda energia consumida, 25% do consumo de água e 12% do uso da terra, além de gerar 25% dos resíduos sólidos e ser causador de cerca de 30% das emissões de GEE[1] no planeta. O autor afirma ainda que a longevidade dos prédios faz com que 80 a 90% do consumo de energia durante o uso, ou operação dos edifícios seja para iluminação, aquecimento, resfriamento ou ventilação. Para minimizar tal consumo algumas tecnologias podem ser empregadas, como é o caso do uso da automação que será tratada no presente trabalho.

Os primeiros edifícios etiquetados no Brasil foram os públicos, no sentido de incentivar os demais setores a pensar no uso eficiente da energia e para que os edifícios novos venham a ser concebidos levando em consideração as premissas da eficiência em todos os aspectos do projeto. O uso de energia em edifícios aumentou consideravelmente em países em desenvolvimento do que em países industrializados nas três últimas décadas. A taxa de crescimento anual média para países em desenvolvimento foi de 2,9 % de 1971 a 2002, comparada a 1,4% para países industrializados. No total, 38% de todo o consumo primário de energia (sem contar a biomassa tradicional) é utilizado globalmente para fornecer serviços de energia em edifícios (GOLDEMBERG & CHU, 2010).

Em pesquisa Magalhães (2001), afirma que os edifícios públicos apresentam oportunidades significativas de redução de custos e de economia de energia através de um melhor gerenciamento da instalação, adoção de equipamentos tecnologicamente mais avançados e eficientes, alterações de algumas características arquitetônicas, utilização de técnicas modernas de projeto e construção, alterações dos hábitos dos usuários e de algumas rotinas de trabalho na edificação. Kasinski et al. (2010), relatam

[1] Gases de Efeito Estufa

que o comportamento irresponsável das pessoas pode aumentar em até 33% os gastos energéticos de um prédio, enquanto o comportamento mais consciente sobre os impactos de suas decisões pode reduzir os custos energéticos de um prédio em até 32%, o que mostra como a simples educação sobre o tema pode diminuir mais da metade o consumo energético de um prédio.

Observa-se, através do contexto da etiquetagem no Brasil, que a utilização somente de equipamentos eficientes não é suficiente para obter um ganho de economia de energia satisfatório. O cenário de crise energética conduz ao racionamento do consumo, porém é comum confundir-se racionalização com racionamento. Consumir energia de maneira racional, com eficiência, significa buscar o máximo desempenho de uma instalação, com o mínimo consumo de energia. O perfil do consumo nos Prédios Públicos PROCEL (2001), conforme Figura 2, demonstra como o condicionador de ar se destaca como um dos itens que mais consomem energia elétrica.

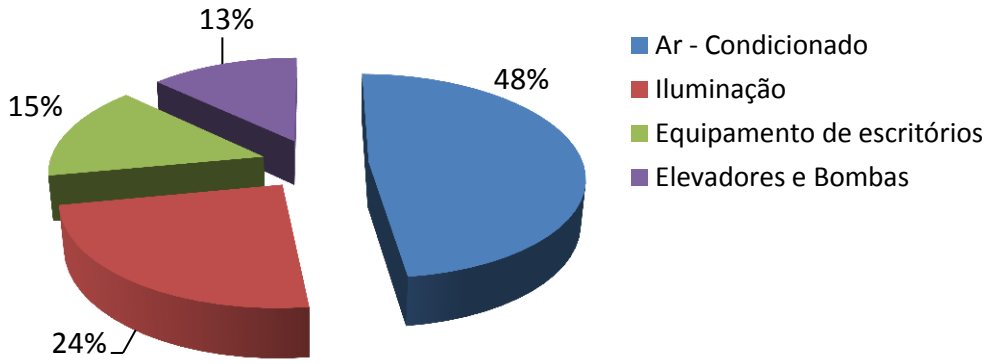


Figura 2 – Consumo de energia elétrica nos Prédios Públicos.
Fonte: Adaptada de PROCEL (2001)

Neste panorama, em pesquisa Xiaotong (2009) afirma que no caso do condicionador de ar central, o consumo da energia representa mais da metade do consumo total de um edifício, chegando a 60%. Portanto, o ponto-chave da economia de energia reside na redução do consumo do sistema de condicionadores de ar.

Segundo Moreno et al. (2005), a cidade de Cuiabá possui clima tropical seco-úmido, com período seco de abril a setembro, enquanto que o período chuvoso vai de outubro a março. Em relação à ventilação, a velocidade média anual dos ventos é de 1,3 a 2m/s de acordo com MIRANDA (2011). Consequentemente, o ar condicionado deve ser empregado quando as condições climáticas não são atendidas por nenhuma

estratégia de resfriamento natural ou ausência de ventos, o que faz o seu uso ser bastante intensificado nessa região. Além disso, o uso da ventilação natural poderia ser empregado somente para o período úmido (outubro a março), pois é preciso umidade para que haja evaporação das partículas de água e assim atingir a um conforto desejado, já no período da estação seca (abril a setembro) as temperaturas são mais elevadas e os ventos são quentes.

A International Energy Agency (IEA, 2009), em uma projeção até 2030, estima que os gastos com energia em edificações vão determinar aproximadamente metade dos investimentos, com mais de 80% do consumo se desenvolvendo ao longo da fase operacional do ciclo de vida do edifício, isto é, o gasto na manutenção do edifício. Ressalta-se que a eficiência energética no edifício não está relacionada somente ao uso racional da energia, mas de diversos fatores do edifício, ou seja, seus materiais, envoltória e equipamentos. Magalhães (2001) afirma que o uso de energia elétrica em prédios públicos está vinculado aos padrões tecnológicos e de eficiência energética dos diversos sistemas e equipamentos instalados, às suas características arquitetônicas, ao clima local, à atividade a que se destina e ao comportamento e grau de consciência dos usuários.

2.1 A AUTOMAÇÃO VISANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O termo eficiência energética diz respeito ao menor consumo de energia para um mesmo produto final e está geralmente associado a novas tecnologias e a melhor organização e gestão de recursos. O emprego de sistemas economizadores de energia, como a automação permite controlar o funcionamento dos equipamentos sem afetar a qualidade e o conforto do produto final.

A demanda de energia em edifícios é conduzida pelo crescimento populacional, tratando-se de edifícios públicos a adição de novos equipamentos, as características construtivas, as condições climáticas e fatores comportamentais refletem de modo significativo no uso da energia. A rápida urbanização que vem ocorrendo em muitos países em desenvolvimento possui importantes implicações no consumo de energia no setor predial. Espera-se que grande parte do crescimento populacional projetado para ocorrer em todo o mundo nos próximos 25 anos ocorra em áreas urbanas. Como milhões de apartamentos e casas surgem para acomodar a população crescente, por sua vez criam nova demanda de energia para iluminação, equipamentos e sistemas de aquecimento e refrigeração. Mudanças estruturais na economia como a expansão do setor de serviços, podem produzir um crescimento mais rápido de demanda no setor de edifícios (GOLDEMBERG & CHU, 2010).

Braga (2007) realizou um estudo sobre os aspectos de eficiência energética de edificações abordando o uso da automação, onde foi proposta, após medições e análise das contas de energia elétrica de uma edificação pública, uma metodologia para modelar a demanda das edificações, que através dos resultados foi avaliada sua variabilidade. Posteriormente, foram apresentadas propostas de eficientização energética com o uso de automação e detalhado os custos para implantação do sistema; para se obter os gastos com equipamentos a serem adquiridos foram feitos orçamentos em lojas especializadas entre os meses de outubro de 2006 e janeiro de 2007. A partir dos resultados obtidos, o autor constatou que o consumo por uso final da edificação pública pesquisada revelou uma expressiva participação do sistema de iluminação e climatização, apontando que o alto consumo ocorreu devido ao número de horas de funcionamento e as elevações da temperatura média mensal. A relação benefício-custo (RBC) deve ser maior que 1,0 para que o projeto seja considerado economicamente justificável; o autor relata que os resultados para a RBC do projeto de racionalização

do consumo da energia foram: 1,42 para o sistema de iluminação e 0,23 para o sistema de climatização. Quanto ao sistema de automação, o autor não pode apresentar resultados devido à dificuldade de se determinar em qual parcela do tempo os equipamentos dos sistemas permanecem ligados desnecessariamente.

Bassetto et al. (2006), realizaram um estudo sobre a viabilidade econômica da *retrofitting* do sistema hídrido[2], da refrigeração e da iluminação do prédio da FEM – UNICAMP, por tecnologias novas e mais eficientes. Os seus resultados mostraram um *payback* de 35 anos para o sistema híbrido, 9 anos para a iluminação e no sistema de refrigeração chegou-se a uma economia anual de seiscentos mil reais, mostrando a viabilidade de atualização de cada sistema.

Gomazako (2007), em sua tese estudou sobre a conservação de energia em edifícios comerciais através do uso de dispositivos de automação. Para isso, o autor apresentou um panorama do sistema elétrico de uma construção de grande porte que opera de forma pouco eficiente em seus equipamentos. O sistema de condicionamento ambiental da edificação em estudo representa um acréscimo no consumo de cerca de 60%, passando de 450.000 kWh/mês para 750.000 kWh/mês, e a troca desses equipamentos por mais modernos e eficientes, significaria grandes investimentos, tornando-se inviável no curto prazo. Assim, o autor elaborou um protótipo contendo dispositivos de automação, que podem ser incorporados ao sistema existente, sem grandes dificuldades, minimizando os custos operacionais com o sistema. O protótipo trata da automação dos motores dos condicionadores através de um CLP (controlador lógico programável) que permite a ligação de sensores, como as termoresistências ligadas a um transdutor, que converte a temperatura em sinal elétrico de 4 a 20 mA, e envia esse sinal elétrico ao CLP (Controlador lógico programável), que de acordo com a programação pré-estabelecida envia um sinal de saída ao inversor, que altera a rotação do motor que controla a vazão de ar insuflado (*fancoils*) existente, nos sistemas de condicionadores de ar central. Seus resultados mostraram que o uso do protótipo com aplicação de dispositivos incorporados nos motores dos condicionadores de ar pode gerar uma economia de cerca de 20% no consumo de energia elétrica, que representa uma economia bastante significativa de 60.000 kWh/mês (neste caso), nos

[2] Sistemas que apresentam simultaneamente comportamentos dinâmicos de tempo contínuo e de tempo discreto.

períodos em que o sistema de ar condicionado entra em operação, além de aliviar os recursos humanos disponibilizados para esse tipo de monitoramento.

No relatório de Levine & Ürge-Vorsatz (2007) afirma-se que existe uma grande quantidade de conhecimento e de tecnologias acessíveis e viáveis que ainda não são amplamente empregadas, que podem melhorar a eficiência energética dos prédios e, por conseguinte, reduzir substancialmente as emissões de gases de efeito estufa provenientes do setor da construção civil. Esses incluem o projeto solar passivo, eletrodomésticos e iluminação de elevada eficiência, sistemas de ventilação e de refrigeração de alta eficiência, aquecedores solares de água, técnicas e materiais de isolamento, materiais de construção de alta refletância e áreas envidraçadas com camadas múltiplas. As maiores economias em termos de utilização de energia (75% ou mais) ocorrem nos prédios novos, ao serem projetados e operados como sistemas integrados. A obtenção dessas economias requer um processo de projetar em conjunto, envolvendo arquitetos, engenheiros, contratantes e clientes, com amplas visões de oportunidades de redução passiva das demandas de energia.

Castro (2009), em pesquisa aponta que o elevado consumo de energia nas edificações ocorre em decorrência do projeto não levar em consideração o conforto térmico, transferindo ao condicionador de ar o papel de corrigir este desconforto. Assim, os estudos comprovaram que um sistema simples de automação pode gerar economia significativa de energia elétrica. Vale ressaltar que a automação não garante a eficiência energética da edificação, mas é uma estratégia que colabora para isso. Lamberts et al. (1997), afirma que "*além da utilização desses recursos tecnológicos, a elaboração de projetos que incluam estudos sobre o comportamento energético do edifício pode melhorar a eficiência da arquitetura*".

3 AUTOMAÇÃO

A automação é conceituada como um conjunto de técnicas que podem ser aplicadas sobre um processo objetivando torná-lo eficiente, ou seja, maximizando a produção com menor consumo de energia, com menor emissão de resíduos e melhores condições de segurança, tanto humana e material, quanto das informações inerentes ao processo. A automação (do latim *Automatus*, que significa mover-se por si), é um sistema automático de controle pelo qual os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem a necessidade de interferência do homem. Surgiu com objetivo de diminuir, ou até substituir o uso da mão-de-obra humana em qualquer processo.

A automação é dividida em três aplicações: Industrial, Comercial e Residencial. O desenvolvimento de sistemas para edificações surgiu com o objetivo também da substituição do trabalho humano, buscando o conforto, facilidade e segurança como, por exemplo, sistemas de monitoramento e controle de edifícios, controle na irrigação dos jardins, dentre outros. O grande marco do uso da automação foi na revolução industrial, com o uso da tecnologia no processo produtivo, na Inglaterra em meados do século XVIII, e expandiu-se pelo mundo a partir do século XIX. A automação foi introduzida a princípio na agricultura, e mais tarde nas indústrias. Pinto (2005) aponta que a automação só ganhou destaque na sociedade quando o sistema de produção agrário e artesanal transformou-se em industrial.

Por volta de 1788, James Watt desenvolveu um mecanismo de regulagem do fluxo do vapor em locomotivas. Isto pode ser considerado um dos primeiros sistemas de controle com realimentação e regulador, e consistia num eixo vertical com dois braços próximos ao topo, tendo em cada extremidade uma bola pesada. Com isso, a máquina funcionava de modo a se regular sozinha, automaticamente, por meio de um laço de realimentação.

No século XX, a tecnologia da automação passou a contar com computadores, servomecanismos e controladores programáveis. Os computadores são o alicerce de toda a tecnologia da automação contemporânea.

De fato, a sociedade de um modo geral não viu a automação de maneira otimista, devido à má informação que levavam a acreditarem que automação era sinônimo de desemprego. Ressalta-se que desde 1767, quando *Hargreaves* construiu uma máquina de fiar que substituía o trabalho humano que era executado pelo equivalente a 100 homens, e mais tarde, quando *Arkwright* inventou o tear mecânico (movido pela força da água), calculava-se haver, na Inglaterra, aproximadamente 7.900 pessoas empregadas na produção de tecidos de algodão. Porém, mais tarde, em 25 anos o número de pessoas que trabalhavam na fiação e tecelagem de algodão era de aproximadamente 320.000, um aumento de quase 4.000%. Com o surgimento da automação, das tecnologias que surgiram após ela, não foi possível voltar atrás, com o custo beneficio que qualquer sistema que venha a substituir a força humana, usar racionalmente os recursos e no ganho do tempo, abster-se da automação remete a prejuízo, não apenas do tempo, mas do mercado de uma maneira geral.

3.1 AUTOMAÇÃO PREDIAL

Uma das vertentes que propôs o uso da automação mais voltada para edificação foi na economia dos recursos. Por um lado, o sucesso da automação nas indústrias e pelo outro devido à crise do petróleo, o uso de controladores motivaram o emprego de sistemas que venham a favorecer na economia da energia. A aplicação da automação predial surgiu nos finais dos anos 70; Lam (2004) define que os sistemas HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) foram os primeiros sistemas de edifícios a serem eletronicamente controlados. Os chips de computadores permitiram o controle destes sistemas, através de sensores localizados, permitindo respostas e alterações rápidas e mais precisas das condições climáticas.

A automação proporciona controle automático de diversos sistemas de uma edificação. Dessa forma, em um edifício onde suas funções operacionais e administrativas, ocorrem por meio de sensores e lógicas de decisão de modo que promovam a integração das funcionalidades de seus subsistemas, seja elétrica, iluminação ou climatização, otimizando seus sistemas é denominada automação

predial. Na automação predial este controle é realizado por dispositivos controladores e sensores que, em conjunto, denomina-se sistema de supervisão e controle predial (SSCP). Esses dispositivos são organizados em uma arquitetura de rede organizada, em vários níveis de controladores e processadores de acordo com a Figura 3.

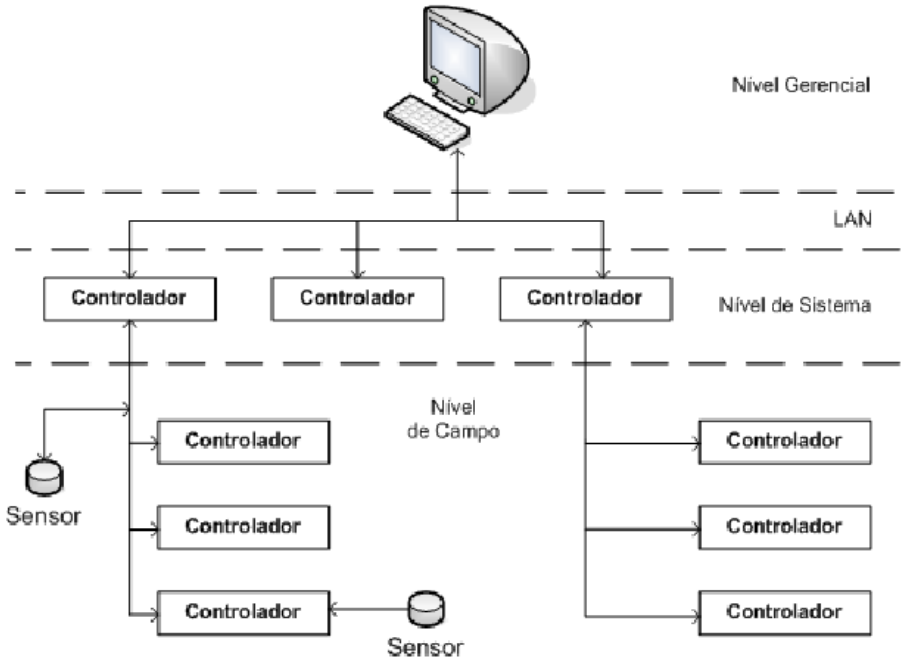


Figura 3 - Arquitetura do SSCP.
Fonte: BRAGA (2007).

De acordo com a Figura 3, o primeiro nível denominado como gerencial, é responsável pela supervisão do SSCP, sendo constituído por microprocessadores dotados de um software supervisório, que realiza o monitoramento e a gestão de todas as funções vitais do edifício como, por exemplo, a água e a energia. Já o segundo nível, podendo existir ou não dependendo do grau de sofisticação necessário, é denominado nível de sistema. Este nível é composto por controladores interligado entre si responsável cada um por um determinado setor, como por exemplo, o setor do sistema de segurança ou do controle da energia que integra dados vindos de outros controladores. O terceiro patamar, chamado nível de campo, é composto por controladores de pequeno porte, utilizados para o controle de sistemas de serviço da instalação, como a iluminação, ventilação e o de condicionamento de ar, por exemplo. No nível inferior estão os sensores e os dispositivos de medição (BRAGA, 2007).

Um sistema de automação predial pode controlar e gerenciar diversos sub-sistemas, tais como energia (elétrica, solar, mecânica, sempre procurando otimizar seu

uso), conforto térmico (ar condicionado, sistemas de calefação), acesso (elevadores, salas, estacionamentos, etc), luminosidade (persianas automatizadas, janelas ionizadas, baseando-se nas atividades desenvolvidas em cada ambiente controlado), segurança (portas corta-fogo, iluminação de emergência), reuso de água (pluvial, tratada, entre outros tipos de reuso) e diversos. Empregado basicamente em edifícios, de maneira a administrar seus sistemas, principalmente nas áreas comuns como corredores, elevadores, estacionamentos dentre outros.

3.2 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

A *Domótica*, ou seja, a automação residencial é uma tecnologia recente que visa a integração de todos os recursos habitacionais. O termo "*Domótica*" resulta da junção da palavra "*Domus*" (casa) com "Telemática" (eletrônica + informática). São estes dois últimos elementos que, quando em conjunto rentabilizam o sistema, simplificando a vida diária das pessoas, satisfazendo as suas necessidades de comunicação, de conforto e segurança. Para Vale et al. (1995), domótica é a ciência que se dedica à aplicação e integração de meios informáticos e tecnológicos de processamento eletrônico ao meio doméstico, isto é, a utilização simultânea da eletricidade, da eletrônica e das tecnologias da informação no ambiente residencial, permitindo realizar a sua gestão, local ou remota, e oferecer uma vasta gama de aplicações nas áreas da segurança, conforto, comunicações e gestão de energia.

Em uma residência não são necessários os complexos dispositivos que controlam pesados processos de produção, mas podem encontrar equipamentos multifuncionais que geram diversos tipos de tráfego na rede como multimídia (centenas de Mega *bps* por segundo) até o tráfego de telemetria (dezenas de *bps* por segundo) e são utilizados por pessoas que não necessariamente possuem qualquer conhecimento técnico (BOLZANI, 2004). A automação residencial é basicamente a integração de diversos sistemas existentes em uma casa, como por exemplo: iluminação, irrigação, condicionador de ar, persianas motorizadas, som ambiente, televisão, DVD, banheiras, e que tem o objetivo de proporcionar ao usuário conforto, segurança e funcionalidade. Surgiu para unificar os controles e processos e simplifica a rotina dos moradores.

Pistolozzi (2009) ressalta que é importante também não confundir sistemas de automação predial com automação residencial, visto que este último se vale principalmente do conceito de qualidade de vida, enquanto automação predial é focada em eficiência, mas deixando claro que estes conceitos não são mutuamente excludentes.

3.3 FUNCIONAMENTO

Antes de discorrer sobre o funcionamento da automação predial/residencial é importante salientar a existência de dois termos: a automação e automatização. A automatização está ligada ao movimento automático, repetitivo, vem da mecanização. Já a automação é um sistema mais amplo, é a integração propriamente dita. Silveira & Santos (2002), em seu livro descreve como sendo o *"conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com uma eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam"*. Na automação o nível de flexibilidade do sistema é maior.

O funcionamento básico da automação predial/residencial segue as leis básicas da cibernética[3], uma delas é que todo sistema dotado de retroação e controle implica na presença de quatro componentes básicos, onde sua característica é a realimentação das informações requeridas para o seu controle, conforme Figura 4.

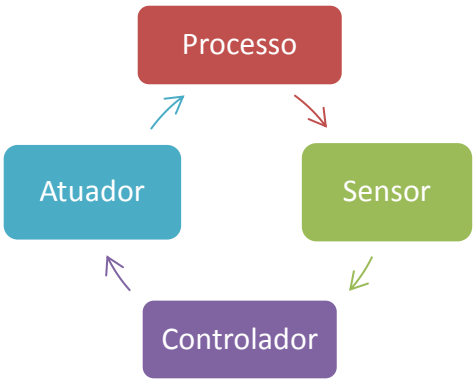


Figura 4 - Diagrama dos blocos de um sistema de automação.
Fonte: Adaptado de Silveira & Santos (2002).

O sensor é definido como sendo um dispositivo sensível a um fenômeno físico, como: temperatura, umidade, luz, pressão, entre outros. Os sensores enviam um sinal

[3] Ciência que estuda e estabelece a teoria geral de sistemas

para os dispositivos de medição e controle. Caso precise medir uma grandeza elétrica a partir de um fenômeno físico qualquer envolvendo grandezas físicas, tem-se a necessidade de um transdutor, que é um dispositivo capaz de responder ao fenômeno físico, ou estímulo, de forma a converter sua magnitude em um sinal elétrico conhecido, proporcional à amplitude deste estímulo. Os atuadores são dispositivos a serem acionados para executarem uma determinada força de deslocamento ou ação física, definida pelo sistema controlador por meio de uma ação de controle (SILVEIRA & SANTOS, 2002).

Do mesmo modo, esta troca de informações que ocorre entre os dispositivos de um sistema de automação pode ser realizada por meio de uma rede de comunicações local (LAN, em inglês *Local Area Network*) que pode ocorrer de maneira centralizada ou distribuída. Os sistemas com arquitetura centralizada possuem todos os dispositivos – sensores e atuadores – interligados ao nó central de conexão. Já as redes baseadas em arquitetura distribuída não dependem do envio de dados à central, os próprios controladores locais recebem dados dos sensores e enviam informações aos atuadores.

Assim, nas redes com arquitetura distribuída, os dispositivos podem estar em malha (Figura 5 a), quando existe ligação entre os pontos de controle e entre eles e a central; em anel (Figura 5 b), quando a informação passa por todos os pontos da rede; e em barramento (Figura 5 c), onde cada ponto de controle é interligado ao mesmo barramento, estabelecendo uma ponte de conexão entre pontos que estão por ele interligados (BRAGA, 2007).

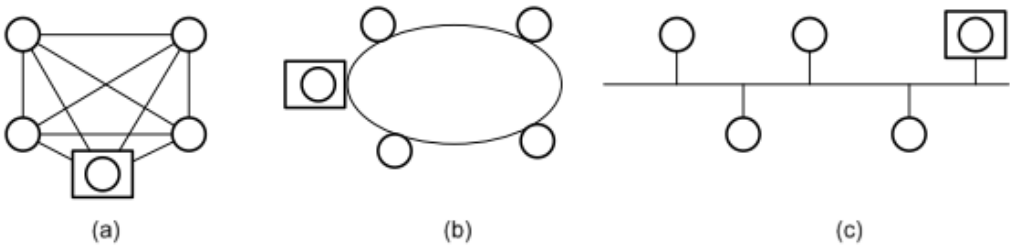


Figura 5– Topologia de rede distribuída
Fonte: BRAGA (2007)

Como a automação possui um conceito de integração e seus componentes precisam operar em conjunto, nem sempre os equipamentos ou sistemas apresentam os

mesmos requisitos de topologia e meio físico. Dessa forma, deve-se escolher uma topologia flexível para que ela possa agregar outras topologias por meio de remanejamentos. Em uma instalação convencional a topologia possui um conceito de anel, onde suas tubulações partem do quadro e se distribuem em todos os ambientes. Porém, deve-se migrar para o conceito de rede, onde cada nó da rede está ligado a uma central de conectividade que agrupa os serviços de dados, voz e imagem da edificação. A aplicação desse conceito em instalações elétricas requer alterações, na qual os retornos das luminárias vão para a central e não para os interruptores para que se possam controlá-los, conforme pode ser visto na Figura 6.

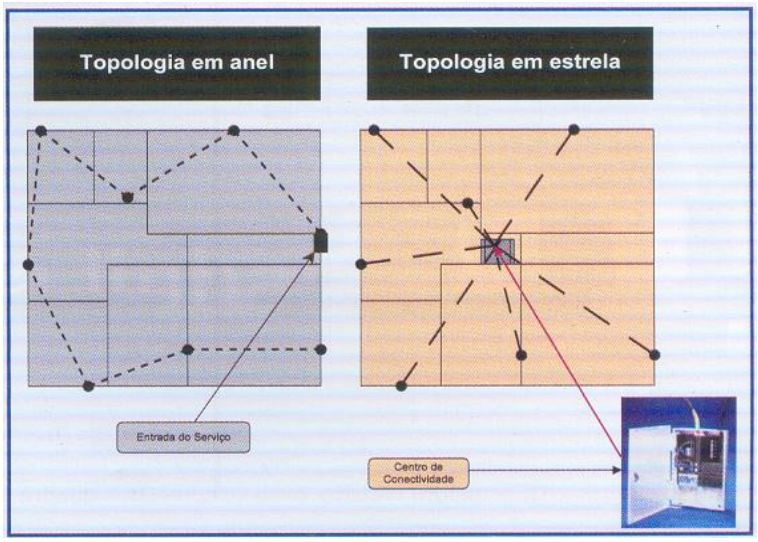


Figura 6: Topologia de Rede.
Fonte: MURATORI (2008).

Para que a edificação receba a automação é preciso que ela possua uma infra-estrutura necessária de cabeamento capaz de integrar, isto é trocar informações de todos os sensores e atuadores existentes nela. Existem no mercado, fabricantes que possuem produtos que permitem o envio de sinais de controle aos dispositivos da edificação, bem como a transmissão de dados entre computadores, através da rede elétrica. São exemplos, o sistema X10 e o PLC já mencionados anteriormente, e também sistemas que funcionam por rede sem fio denominado Wi-fi, porém as taxas de transmissão de dados nestes sistemas são menores e a escolha do tipo de sistema a ser empregado vai depender da complexidade do projeto e do que se deseja integrar.

Para que um sistema de automação obtenha operabilidade[4] é importante a utilização de sistemas de cabeamento estruturado no projeto. O cabeamento estruturado é embasado por padrões e normas, permitindo a utilização de um único meio físico comum, adequadamente organizado, para o transporte de sinais de TV, telefonia, internet e compartilhamento de dados e recursos em geral (TEZA, 2002).

As principais normas que envolvem o projeto de cabeamento estruturado são: Norma ANSI/TIA/EIA 568-B.1. (Requerimentos gerais do cabeamento estruturado); Norma ANSI/TIA/EIA 568-B. 2. (Componentes UTP do cabeamento estruturado); Norma ANSI/TIA/EIA 568-B. 3. (Componentes ópticos do cabeamento estruturado); Norma ISO/EIC 11801. (Especificações de sistemas de cabeamento estruturado); Norma Técnica NBR 14565. ABNT. (Procedimento básico para elaboração de projetos de cabeamento de telecomunicações para rede interna estruturada).

Na Figura 07, adaptada de Muratori (2008), demonstra as diferenças entre um projeto elétrico convencional, um projeto feito exclusivamente para automação e o chamado projeto híbrido, que permite uma implantação parcial da automação, ou implantação futura sem necessidades de intervenção na estrutura física do imóvel.

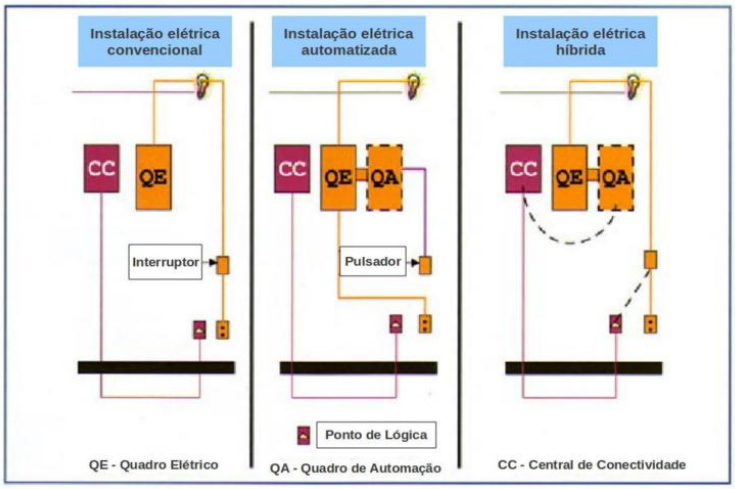


Figura 7– Diferenças entre instalação elétrica convencional, automatizada e híbrida.
Fonte: MURATORI (2008).

Muratori (2008) ressalta sobre a substituição de interruptores elétricos por pulsadores, que transmitem informações em pulsos (pré-codificados ou não) através de um cabeamento lógico até a central de comando localizada no quadro de automação.

[4] Desempenho e confiabilidade

Sugere também, uma alternativa de menor custo sendo utilizada por profissionais da área, trata-se na utilização de relés de impulso ou telerruptores no lugar da central de automação. Este tipo de solução viabiliza o uso de uma central no futuro, pois sua infra-estrutura estará apta para receber a central.

3.3.1 Protocolos de Comunicação

Protocolo é um conjunto de padrões de comunicação[5], como por exemplo, quando uma pessoa quer conversar utiliza regras de convívio social: enquanto uma está falando à outra ouve, o mesmo ocorre com os computadores; em uma rede existe um conjunto de protocolos que é seguido por todas as máquinas possibilitando a troca de informações (BOLZANI, 2004).

Braga (2007) descreve que os procotolos de comunicações são conjuntos de regras que determinam como é realizada a troca de informações em uma rede e a qualidade com que é realizada a transmissão de dados em uma rede. Os protocolos de comunicação podem ser abertos, baseados em padrões internacionais, ou proprietários. A necessidade de existir versatilidade nos sistemas de automação predial incentivou a tentativa de se estabelecer um protocolo comum de comunicação, que tornasse um padrão de sistemas abertos e o desenvolvimento de produtos interoperacionais. Os procololos mais usados são:

- **Building Automation and Control Network (BACnet):** Protocolo aberto desenvolvido pela ASHRAE[6] em 1995, com o propósito de padronizar a comunicação entre os produtos dos diversos fabricantes de automação e controle, permitindo o compartilhamento de dados e a interoperabilidade dos equipamentos (BUSHBY, 1997);
- **European Installation Bus (EIB):** Protocolo industrial, originalmente desenvolvido pela SIEMENS, atualmente utilizado por diversas companhias. Segundo a Siemens (2007) é um padrão proprietário, com topologia flexível

[5] No contexto de telecomunicações, protocolo é um conjunto formal de convenções que regulam o formato e o sincronismo da troca de mensagens entre dois sistemas de comunicações.
[6] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) é uma organização dos profissionais da área de aquecimento, refrigeração e ar-condicionado.

que permite modificações nas funções desempenhadas pelos dispositivos. Utiliza como meio físico o par trançado ou telefônico.

- **Consumer Electronics Bus (CEbus):** Protocolo regulamentado pela EIA 600 (Electronic Industries Association), voltado especificamente para automação residencial. É um padrão de controle distribuído, no qual cada dispositivo possui um circuito integrado contendo hadware de comunicação, linguagem e protocolo. Faz uso de linhas de energia elétrica, par trançado, fibra óptica, infravermelho e radiofreqüência (EIA, 2007).
- **Lontalk:** protocolo aberto, definido pela norma ANSI EIA 709.1, foi desenvolvido pela Echelon Corporation, para redes de controle distribuído usando a tecnologia LonWorks (IEC, 2007). Utiliza como meio físico: cabos coaxiais, par trançado, fibra óptica, telefônico, rede elétrica, radio frequência e infravermelho (ECHELON, 2007);
- **X10:** Protocolo desenvolvido pela empresa escocesa Pico Eletronics Ltda. Utiliza a rede elétrica para transmitir sinais de controle modulados na frequência da rede (BOLZANI, 2004). Os sistemas baseados neste protocolo são de baixo custo e de fácil instalação. São susceptíveis a interferência por ruídos na rede elétrica, nos momentos de acionamento de cargas, como motores de liquidificadores.
- **Z-Wave**: Desenvolvido pela Zensys, trata-se de um protocolo de comunicação completamente sem fios que usa uma largura da banda estreita para enviar comandos de controle e, potencialmente, dados secundários (informações do tempo). Não tem largura da banda suficiente para transmissão de áudio ou vídeo, permite comunicação de mão dupla, e não é compatível com dispositivos X10. Os equipamentos que usam esse protocolo consomem pouca energia elétrica e permitem muita flexibilidade. A qualquer momento o usuário pode adquirir novos dispositivos com chip Z-Wave e conectá-los a rede de automação doméstica sem qualquer complicação. Sua rede possui topologia em forma de malha, com até 232 dispositivos colocados a uma distância máxima de 30 metros. O controle do sistema é descentralizado, com cada equipamento dotado de um chip Z-Wave com capacidade de processamento e memória

passível de programação, porém sua velocidade de transmissão é baixa (TERUEL & NOVELLI FILHO, 2007);

Para que um sistema seja eficiente, é importante que o protocolo possua mais flexibilidade e rapidez nas trocas de informações. Os dados provenientes de um sensor contêm vários atributos, informações, que afetam como será interpretado no contexto geral, na atividade a qual se destina. A qualidade da informação depende da uniformização dos protocolos para que seja interoperável, simples o suficiente para ser implementada em praticamente qualquer dispositivo e usada em qualquer aplicação.

3.3.2 Sistemas comerciais dedicados à automação

Os primeiros sistemas de automação ocupavam bastante espaço, com capacidade, desempenho, confiabilidade e disponibilidade reduzida. Os sistemas modernos reverteram estas características desfavoráveis e se mostram cada vez menores, com grande capacidade de processamento, o que lhes atribui alto desempenho, são extremamente confiáveis e com altos índices de disponibilidade. Uma das principais mudanças trazida pelo avanço tecnológico foi à distribuição de recursos e dados pelos diversos componentes de um grupo de computadores. Outrora, tarefas e dados eram processados em uma única máquina, servidor *main-frame*, que concentrava e geria todos os recursos de processamento e armazenamento dentro de uma arquitetura centralizada, como mostrada na Figura 8. Os sistemas de controle eram separados da estrutura corporativa (QUEIROZ, 2004).

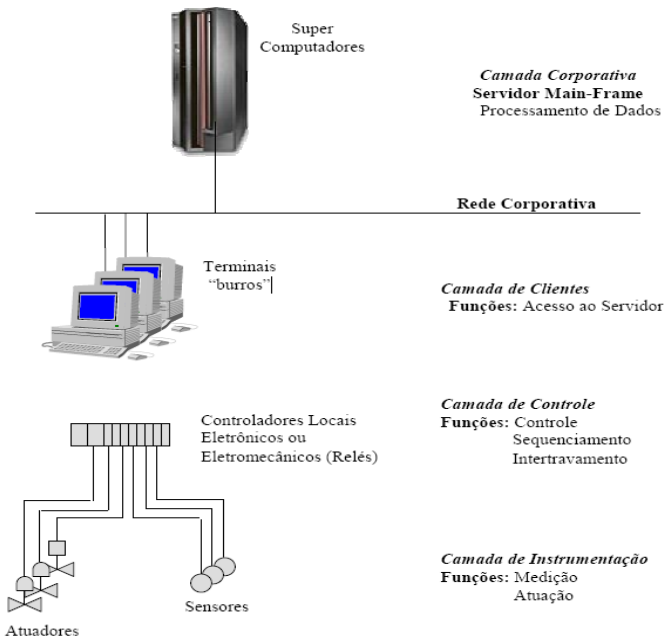


Figura 8– Arquitetura Centralizada.

Fonte: QUEIROZ (2004).

A descentralização trouxe maior autonomia e maior disponibilidade de recursos uma vez que cada equipamento, dotado de uma unidade de processamento e outra de armazenamento próprio, tornou-se capaz de realizar tarefas, armazenar dados localmente e intercambiar dados e informações com outros equipamentos conectados através de uma rede constituindo uma arquitetura distribuída, conforme Figura 9. Não existe uma configuração única ou uma regra que determine onde os recursos deverão ser alocados, onde as tarefas deverão ser desempenhadas ou onde os dados deverão ser armazenados. Cada sistema deverá possuir uma configuração de *hardware* e *software* adequada às suas necessidades e estar apto a receber dispositivos de outros fabricantes (sempre que possível), bem como prever capacidade para expansões e futuras mudanças.

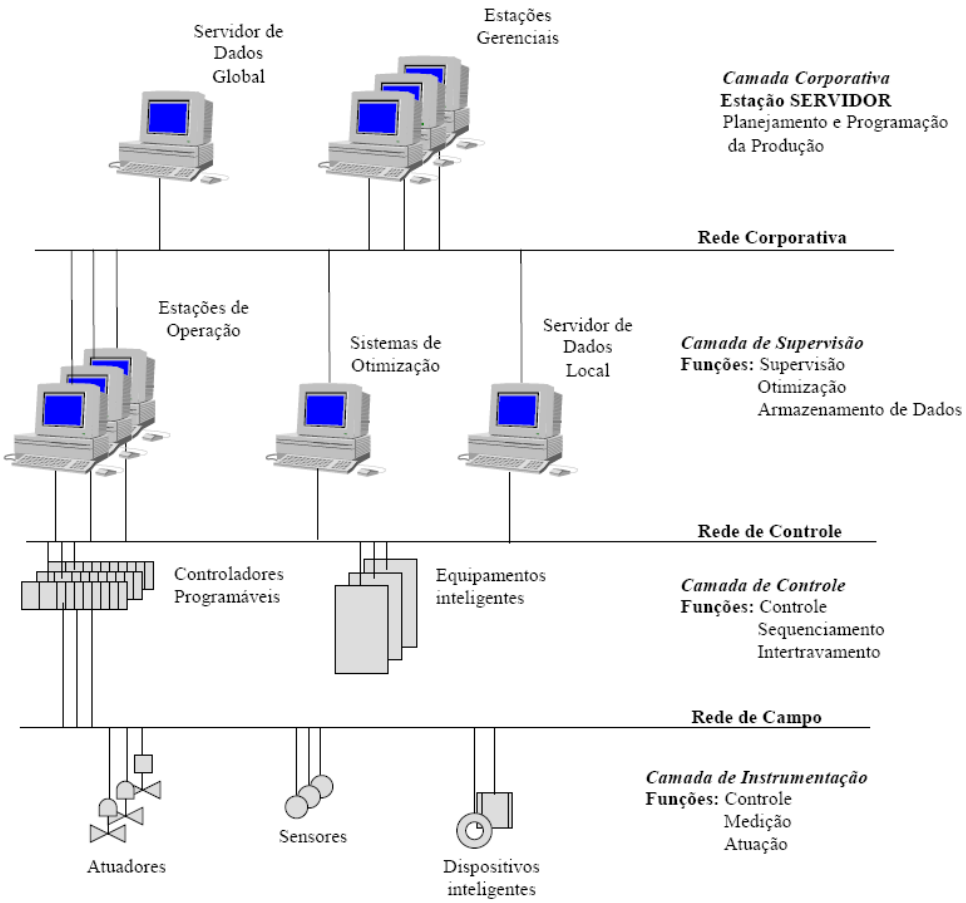


Figura 9– Arquitetura distribuída.

Fonte: QUEIROZ (2004).

Os sistemas dedicados a automação tem o papel de integrar os equipamentos ou subsistemas para que possam ser monitorados e controlados. Existem no mercado da automação, diversos sistemas com soluções completas dispondo de módulos de *hardware*, com arquiteturas centralizadas ou distribuídas, com módulos interligados na rede que é fornecida com pacotes de *software* que os configuram para uma aplicação específica (SIEMENS, 2007).

Os mesmos equipamentos, antes usados em processos de automação industrial, estão migrando para a área da automação predial, com o uso de dispositivos como sensores, PLCs, microcontroladores de temperatura, vazão, luminosidade, entre outros. Teruel & Novelli Filho (2007) em sua pesquisa sobre as principais tecnologias de automação residencial comercializadas no Brasil relata que as tecnologias que

envolvem maior número de empresas fabricando aparelhos com seus chips, o que permite a comunicação com seu protocolo, ganham vantagem, pois evitam o desperdício de equipamentos e a queda do desempenho causada pela criação de interfaces de comunicação.

3.3.3 Controle de Subsistemas

Conforme mencionado, a automação apresenta diversos subsistemas que deverão ser integrados e controlados. Ressalta-se que as funcionalidades que a automação possui são extensas, a pesquisa baseou-se somente no controle do condicionador de ar, mas é preciso destacar o que é possível integrar no sistema e quais benefícios podem ser alcançados.

a) Iluminação

O controle da iluminação permite que suas cargas sejam utilizadas de maneira mais racional, com a dimerização das lâmpadas e com a programação horária de seu acionamento, evitando desperdícios.

A regulação da intensidade da luz leva ao prolongamento da vida útil da lâmpada, pois o uso de sua carga total é menor. Para controlar a intensidade da luz nas fluorescentes são necessários *dimmers* específicos e reatores eletrônicos *dimerizáveis* que possuam uma entrada de controle específica para variar a luminosidade do sistema. Este tipo de entrada trabalha com uma interface de 1 a 10 V. Na Figura 10 pode ser visto um modelo de *dimmers* para lâmpada incandescente.

Figura 10– *Dimmers*
Fonte: http://www.mundohabitat.com.br/controle_acesso.html

Bolzani (2004), afirma que para serem controlados de maneira automática os sistemas de iluminação devem ser integrados a sensores de presença e de luminosidade e a atuadores, como minuterias e interruptores do tipo cartão. Os dispositivos

comumente utilizados são os sensores de presença, pois apresentam economias significativas no consumo de energia elétrica. Em pesquisa, Alvarez (1998) apresenta potenciais de economia de até 75% conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Potencial de Redução do Consumo de Energia com o Uso de Sensores de Presença

Aplicação	Potencial de Economia (%)
Escritórios	20 - 50
Banheiros	30 - 75
Corredores	30 - 40
Áreas de estoque	45 – 65
Salas de reuniões	45 – 65
Salas de Conferências	45 – 65
Depósitos	50 - 75

Fonte: ALVAREZ (1998).

A partir da detecção de movimento, o sensor envia um sinal elétrico indicando esta ocorrência. Em uma lógica de controle simples pode ser utilizada um único fator determinante para o acionamento do sistema de iluminação, já para programações mais sofisticadas, esta informação pode ser utilizada em conjunto com outros sistemas como, por exemplo, sensor de luminosidade.

A minuteria consiste em interruptores temporizados, isto é, é acionado durante um intervalo programável de tempo, logo após é desligado. Nos interruptores de cartão a energia é estabelecida apenas quando o cartão é inserido no interruptor, ao ser retirado o fornecimento é cortado, sendo conectado a um módulo de potência para comandar aparelhos de ar condicionado. Eles foram desenvolvidos especialmente para controlar e racionalizar o consumo de energia, muito utilizados em hotéis (BRAGA, 2007).

O aproveitamento da luz natural através de sensores de luminosidade em conjunto com a luz artificial é uma estratégia que a automação permite realizar para usar racionalmente a energia. Esta integração pode ser parcial, utilizando a luz artificial sempre que a luminosidade natural for inferior a um determinado patamar, ou total, complementando a luminosidade natural para que seja atingido o nível de luminosidade necessário.

b) Entretenimento

Sistema voltado para a automação residencial, pois integra as funções e equipamentos de áudio e vídeo distribuídos. Podendo ser integrado em automação predial quando houver a necessidade de monitorar e controlar o uso de equipamentos de áudio e vídeo em um edifício. Como existem aplicações voltadas ao controle de *home-theater*, integrando todos os comandos de áudio e vídeo (DVD, TV, CD *player*, videokê, *iPOD*, dentre outros), permitindo que tais equipamentos sejam controlados através de interfaces integradas com apenas um único toque na tela de um *iPAD* que funciona como controle universal da casa. Mas pode ser agregado em conjunto com demais funções como a climatização e a iluminação.

É possível também a automatização de zonas de som ambiente em diferentes regiões e cômodos da edificação, reproduzindo fontes de áudio a partir de servidores de musica ou aparelhos de som.

c) Detecção e Combate a Incêndio

A integração deste sistema na automação residencial/predial é de extrema importância para a segurança dos ocupantes da edificação. O sistema é composto por uma central de comando, com sensores e atuadores, esta central recebe e envia dados aos controladores, que estão conectados a todos os sensores e atuadores. Estes dados devem estar integrados, via rede, aos demais subsistemas que a automação possui, provendo informações de suas ações de emergência, supervisão da edificação e permitindo outras ações consequentes nestes subsistemas.

Para exemplificar, ao detectar a fumaça, o sistema dispara um alarme de incêndio e envia mensagens SMS para o proprietário da edificação, faz uma ligação de emergência para o corpo de bombeiros, através de uma mensagem de voz já configurada. Esta detecção pode ser realizada por sensores de temperatura (térmicos ou termo-velocimétricos) e de fumaça. Os detectores de fumaça reconhecem a presença de partículas ou fuligem no ar. Já os de temperatura do tipo térmico detectam calor, eles possuem uma lamina bi-metálica que, ao atingir temperatura crítica, comuta um contato. Os sensores termo-velocimétricos detectam variação de temperatura, eles possuem dois termistores que, na ocorrência de um incêndio, registram temperaturas distintas, levando o detector ao estado de alarme (BRAGA, 2007).

d) Segurança

Constitui em um monitoramento e vigilância eletrônica do ambiente, objetiva-se proporcionar segurança e conveniência aos proprietários das edificações. Os sistemas de segurança e alarme também se integram ao CFTV (circuito fechado de TV) com câmeras monitoradas remotamente, sensores de presença, alarmes, controle de acesso, acionamento de portas e portões e ativamento de funções da edificação por meio da internet ou do celular. Podendo ser integrado aos demais subsistemas, como da detecção de incêndio, por exemplo, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11– Circuito Fechado de televisão
Fonte: http://www.guiadocftv.com.br

e) Controle de Acesso

Responsável por liberar ou restringir acesso as diversas áreas de uma edificação, tem como objetivo o controle do movimento de pessoas, bem como veículos. Com as informações de identificação, diversas ações podem ser tomadas, através de chaves eletrônicas, impressões digitais, reconhecimento de voz, leitura de íris ou mesmo cartões magnéticos, vai depender do tipo sistema e sua sofisticação.

A biometria, que é a ciência de identificação baseada na medição precisa de traços biológicos, utiliza as características exclusivas de cada pessoa. Ambientes que exigem alta segurança estão utilizando a biometria para controle de acesso, pois ela proporciona confiança irrestrita nas informações obtidas. No comercio e em edifícios públicos são muito utilizados para o controle de pontos dos funcionários. Na Figura 12, temos exemplos de modelos de biometria.

Figura 12– Biometria
Fonte: http://www.mundohabitat.com.br/controle_acesso.html

Com a integração deste sistema na automação, é possível identificar através do CFTV, pela internet quem deseja acessar a edificação e liberar o acesso pela biometria.

f) Gestão dos Insumos

Fator este que torna a automação como primordial em uma edificação, pois ela é capaz de determinar a maneira como os diversos equipamentos existentes serão utilizados, garantindo que o uso da energia seja realizado de forma racional.

Para gerir a água na edificação, a automação é realizada através do controle do sistema hidráulico, monitorando o nível de água do reservatório de abastecimento, o estado da bomba e o número de horas de sua operação. Sendo possível modular a demanda de energia elétrica, para o acionamento desse sistema, estabelecendo que as bombas só devam ser ligadas em determinados períodos, a menos que o nível de água do reservatório fique abaixo do crítico (MONTEBELLER, 2006). De fato, com o controle do bombeamento dos reservatórios o ganho de economia é de fato alcançado, caso esta programação ocorra fora do horário de pico, a economia é aumentada.

No gerenciamento de energia elétrica, o sistema realiza uma medição global e setorial, compõem-se de medidores, unidades de verificação de estado, e o gerenciador de energia que é responsável pela aquisição e registro em memória de dados de consumo energético provenientes de medidores de energia. O controle da demanda opera a partir das informações provenientes do gerenciador e programas no sistema ações de intervenção sobre as cargas do sistema de controle automático da edificação. Ao receber dados que indique risco de ultrapassagem da demanda contratada, o sistema pode executar um algoritmo de desligamento de cargas, de acordo com as prioridades previamente estabelecidas (BRAGA, 2007).

3.3.4 Sistema Modular empregado na pesquisa

Foi empregada na pesquisa uma linha de automação residencial chamada *Module* de uma empresa brasileira de automação residencial. Seus módulos permitem automatizar iluminação, equipamentos comandados por infravermelho e cargas elétricas como cortinas motorizadas, sistema de irrigação, ar condicionado, banheiras, sistema de acesso, câmera de segurança, entre outros.

Além disso, o sistema conta com o recurso de acionamento de ações por horário, permitindo agendar eventos. Suas funcionalidades permitem acionamento remoto pela internet ou celulares. A linha *module* conta com seis módulos para integração do sistema de automação que será apresentada a seguir:

- *Module Dimmer*: Responsável pela dimerização e monitoramento de circuitos de iluminação. Esse módulo permite a criação de cenas de iluminação integradas ao sistema de automação. Cada *Module Dimmer* possui oito canais de dimerização. Esses canais controlam a intensidade luminosa de qualquer carga dimerizável com potência máxima de 1000W por canal. A potência total do módulo é de 4000W.
- *Module Relay*: Responsável pelo comando e monitoramento de contatos (liga / desliga) de cargas genéricas. Cada módulo disponibiliza oito relés para comando. Cada relé pode receber comandos para fechar, abrir, inverter ou pulsar o contato. Esse módulo permite a integração de cargas com diferentes alimentações que podem chegar até 380V e 10A.
- *Module AV:* Integra equipamentos de Áudio e Vídeo ao sistema Module. Este módulo foi desenvolvido para acionar equipamentos de *Home Theater* comandado por infravermelho como *CD - Players*, *Receivers*, amplificadores de potência, *DVDs*, projetores e condicionadores de ar.
- *Module Task*: Possibilita agendar ações para serem acionadas pelo sistema em horários programados. Através do software *NeocData* qualquer evento previamente configurado pode ser executado em um determinado ano, mês, dia, dia da semana, hora, minuto e segundo de uma maneira fácil e direta.

- *Module Web:* Interliga o sistema de automação com o mundo. Com este módulo o usuário pode acionar qualquer evento do sistema de automação via Internet ou celulares. Os acionamentos por celular são realizados através do software *NeocData Web* instalado em aparelhos com sistema de transmissão de dados GPRS.
- *Module Switch:* Possibilitam comandar a automação através de interfaces de parede, interfaces de biometria e sensores. Cada módulo disponibiliza até 32 interfaces diferentes, cada interface com oito acionamentos pré-configurados.

Na pesquisa, foram utilizados os módulos *relay, task, switch e web* para realizar o controle dos condicionadores de ar, que será explicitado no próximo capítulo.

Vale ressaltar, que o quadro da automação deve estar disposto próximo do quadro de energia elétrica, para facilitar seu controle, bem como um projeto elétrico e luminotécnico definido para a integração das cargas e sistemas.

Este sistema possui software dedicado onde é realizada a configuração dos comandos a serem integrados, sua estrutura física necessita de internet, mas pode também ser acionado apenas pela rede, as necessidades do tipo de integração é que vai definir o número e quais módulos serão empregados. Possui as seguintes características:

- Usam o protocolo UDP Broadcast, ou seja, não depende de IPs para que o sistema funcione. Todos os módulos recebem todas as mensagens;
- Usam a porta 8760;
- Utiliza a estrutura física e lógica da rede local.

4 O CONDICIONADOR DE AR

Sabe-se que a iluminação e o condicionador de ar são os maiores responsáveis pelo uso final da energia em edifícios comerciais e públicos. Ao analisar edifícios comerciais em São Paulo, Geller (2006) observou que em média o consumo com iluminação é de 44%, com ar condicionado 20% e com outros equipamentos 36%. Procel (2007) avaliou que o impacto do uso de ar condicionado num ambiente comercial e da ordem de 47% e, em residências, 20% do consumo global de energia. Um projeto que racionalize o uso da energia dentro de uma eficiência correta pode reduzir significativamente este consumo, produzindo uma economia que venha amortizar em curto prazo os investimentos implantados neste setor.

O condicionamento ambiental é uma fonte potencial de economia de grande importância em instalações comerciais e públicas, mediante a combinação da redução da carga térmica, aliada ao uso de tecnologias eficientes de geração de frio e melhor controle dos sistemas. A economia possibilitada pela aquisição de aparelhos de ar condicionado de potências e capacidades adequadas, aliado a escolha de aparelhos mais eficientes energeticamente, deve proporcionar impactos consideráveis na economia de energia. O caminho é a opção por um gerenciamento energético onde se priorize a preferência por equipamentos que visam promover um melhor uso da eletricidade, através de medidas que minimizem e otimizem o seu uso. Neste contexto, os condicionadores de ar têm muito a contribuir (SOUZA, 2010).

Devido ao fato de que 78% da energia produzida no Brasil ser de usinas hidrelétricas, a disponibilidade de água para gerar a energia varia dependendo da época do ano, tornando esta energia mais cara. O meio utilizado para diminuir o custo da energia é a escolha de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com os períodos do ano e as horas de utilização do dia, mais conhecida como tarifa horo-sazonal. Em edifícios públicos, este método é

bastante empregado, porém somente esta estratégia não é totalmente satisfatória para se economizar energia, podendo ainda o edifício ter altos consumos se não houver maiores iniciativas do uso racional da energia, conforme Figura 13.

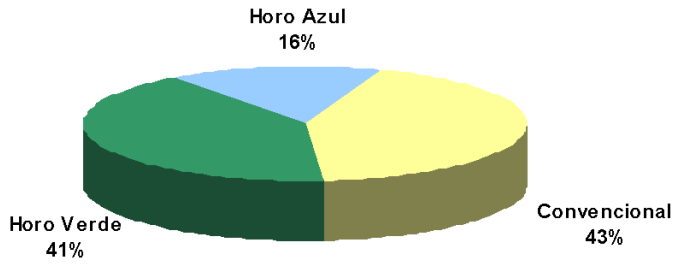


Figura 13– Percentuais de consumidores por tarifa de fornecimento no Brasil
Fonte: PROCEL, 2007.

Em pesquisa, Souza (2010) comparou os índices mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar brasileiros, do tipo janela, com os resultados dos estudos de Rosenquist (2008) realizados em outros países, e constatou que os condicionadores de ar brasileiros apresentam índices de eficiência energética (relação entre o efeito frigorífico útil e o consumo energético) menores com relação aos índices dos condicionadores dos países estudados. O autor indica um índice mínimo de 2,08 W/W em média, para os condicionadores de ar do tipo janela no Brasil, enquanto para os demais países os índices estão na ordem de 2,80 W/W. Em outras palavras, um condicionador vendido no Brasil pode consumir até 34% mais que o pior equipamento existente nos outros países. Porém, o índice de eficiência energética atualmente é de 2,91 W/W para condicionadores de ar do tipo janela classe 1, constante no relatório do Procel 2011(ano base 2010), no qual foi observado um aumento de 13% na economia de energia se comparado ao ano de 2009, fatores que contribuíram para este resultado foram o aumento nas vendas de equipamentos com Selo Procel e pela melhoria na eficiência energética desses equipamentos.

Mascaró (1992), afirma que o consumo dos condicionadores de ar no Brasil é cerca de 25% a 45% mais alto que o necessário devido a projetos inadequados, isto é, projetos elaborados sem levar em consideração diversos fatores que influenciam no desempenho térmico do edifício como a localização, entorno, radiação solar, características térmicas dos materiais dentre outros, impondo a necessidade de se

utilizar o condicionador de ar como estratégia para o conforto térmico. A eficientização de um sistema de condicionamento de ar não depende somente de seus aparelhos, mas do ambiente a ser climatizado.

Silva (2008), em sua dissertação pesquisou sobre os impactos do consumo de energia elétrica em relação à climatização em residências na cidade de Manaus e propôs medidas de eficiência energética. Seu método partiu do levantamento dos consumos e demandas dos condicionadores de ar através do número de consumidores ativos da concessionária da região, em seguida foi proposta uma substituição de condicionadores de ar de baixa eficiência por equipamentos de alta eficiência. A metodologia apresentada pelo autor se baseou na análise comparativa da carga térmica, obtida através de simulação computacional, de um quarto em uma residência com duas características construtivas diferentes. A avaliação mostrou que na estratégia de substituição dos equipamentos condicionadores de ar de baixa por alta eficiência, haveria redução do consumo em 85 GWh/ano de energia elétrica e a demanda na ponta em 47 MW, se todas as novas residências pudessem ser enquadradas nesta estratégia, os impactos dessas substituições na concessionária local, no ano de 2006, alcançariam uma redução no consumo de energia elétrica de 11,5 GWh, na demanda de 5,8 MW e na conta de luz de cada residência de R$ 413,49.

Souza (2010), em sua dissertação pesquisou sobre a economia de energia em condicionadores de ar no Brasil. O autor inicialmente avalia o impacto energético atribuído ao Programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores de ar do tipo Janela e *Split*, desenvolvido pelo Centro de Excelência em Eficiência Energética, EXCEN/UNIFEI, através de dados de consumo medidos em condições padronizadas, ajustados para o contexto real. Para tanto, o conjunto dos equipamentos foi modelado e separado de forma regional e setorial, para incluir os efeitos da temperatura ambiente e intensidade de utilização, levando em conta ainda a perda de desempenho ao longo da vida util. A economia de energia promovida pela introdução do Selo PROCEL em condicionadores de ar foi de 664 GWh em 2008, esta economia corresponde 80% para o setor residencial e 20% para o setor comercial. A redução de demanda na ponta associada a essa economia de energia foi de 339 MW, que corresponde a 0,32% da oferta máxima de energia elétrica registrada no ano da pesquisa pelo Sistema Interligado Nacional. Posteriormente o autor efetuou uma análise econômica da

viabilidade de aquisição de aparelhos eficientes (classe A) adotando critérios do custo anual equivalente e a taxa interna de retorno (TIR) e considerando as tarifas elétricas e tempos de uso regionalizados, e constatou que é vantajoso comprar os modelos mais eficientes na maioria das regiões brasileiras. O aparelho condicionador de ar representa uma parcela de consumo significativa dentro de uma edificação, seja ela residencial, comercial ou pública, quaisquer medidas direcionadas para eficientizar o uso do sistema é importante.

Antes de discorrer sobre os tipos de condicionadores é importante o entendimento de como o sistema trabalha.

O condicionamento de ar é um processo que objetiva controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a movimentação, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente. Em certas ocasiões controlam também o nível de pressão interna do ambiente em relação aos ambientes vizinhos ABNT-NBR/16401 (2008). Já o ar condicionado é o resultado do processo de condicionamento.

Este condicionamento implica na prefixação dos valores representativos das condições a seguir indicadas, em função dos valores representativos do conjunto de condições locais, coexistentes no período de tempo em que se considera a aplicação do processo:

- Temperatura do termômetro seco;
- Temperatura do termômetro úmido ou umidade relativa;
- Movimentação do ar;
- Grau de pureza do ar.

Destinados ao conforto humano, os valores prefixados para a temperatura, a umidade relativa e a movimentação do ar devem determinar um ponto situado na zona de conforto estabelecida para o local.

O principio de funcionamento dos condicionadores de ar para refrigeração, realiza-se pela troca de temperatura do ambiente através da passagem do ar pela serpentina do evaporador que por contato sofre diminuição da temperatura. Desliga o compressor quando se alcança a temperatura desejada. O equipamento mantém o fluxo de ar ambiente pelo evaporador, qualquer variação no sentido de aumento da temperatura ambiente é acionada novamente para refrigerar o ar ambiente.

4.1 TIPOS DE CONDICIONADORES DE AR

Para ambientes menores, principalmente para as residências, o aparelho mais utilizado é o do tipo janela, conforme Figura 14. Dentre os aparelhos de condicionador de ar disponíveis no mercado este é o modelo de mais fácil instalação, pois todos os seus componentes se encontram num único volume.

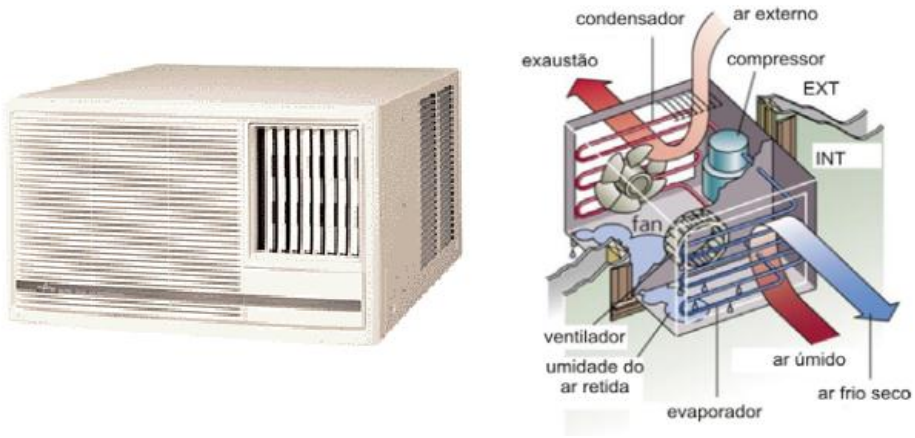


Figura 14– Aparelho de ar condicionado de janela
Fonte: SILVA (2008).

A etiquetagem dos aparelhos trata-se dos padrões mínimos obrigatórios de eficiência estabelecidos pelo INMETRO juntamente com o PROCEL visando classificar os equipamentos de acordo com sua eficiência nas classes A até E. Os aparelhos do tipo janela possuem capacidades térmicas menores, em se tratando de eficiência energética, são os modelos mais ineficientes (CORBIOLI, 2004).

A instalação do condicionador de ar tipo janela compreende uma abertura na parede voltada para o ambiente externo, preferencialmente no centro da parede de menor largura, para uniformizar a temperatura interna do ambiente, a 1,70m de altura do piso. Tendo em vista que o rendimento do aparelho está associado às trocas térmicas, sua exposição à radiação solar, a isolação entre ambientes ou qualquer forma de estagnação do fluxo de ar comprometem em até 30% a sua capacidade de refrigeração (LAMBERTS, 1997).

Em edifícios e ambientes maiores o sistema tipo *split* (o termo significa “divisão” em inglês) é o mais apropriado, atualmente tem o seu uso intensificado em residências. Este sistema possui a unidade condensadora externa separada da evaporadora que é interna, assim, produz menos ruído para o ambiente conforme Figura 15.

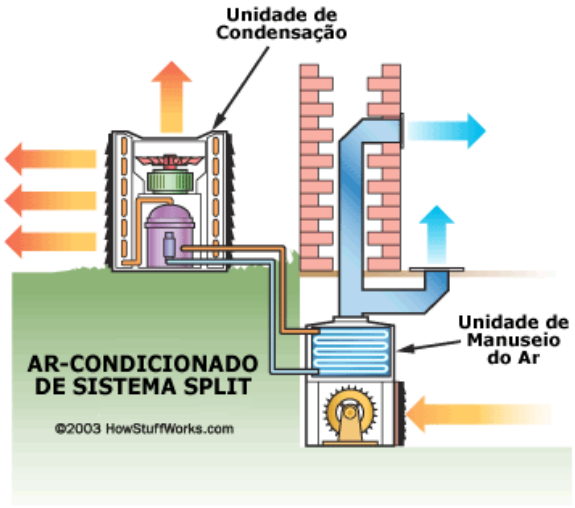


Figura 15– Diagrama de um ar condicionado do tipo *split*
Fonte: BRAIN (2009).

A unidade que produz o frio, composto de uma válvula de expansão e de um evaporador, é colocada dentro de uma câmara ou dentro de outro sistema de distribuição de ar. O sistema movimenta uma corrente de ar através do evaporador e direciona o ar através do prédio todo, usando uma série de dutos. A outra unidade, responsável pela dissipação do calor para o ambiente externo, conhecida como a unidade condensadora, fica na parte externa do prédio. Esta unidade consiste de um trocador de calor com tubos em espiras na forma de um cilindro; um ventilador que sopra ar e o compressor. Esse sistema tem evoluído ao longo dos anos, pois tem baixo custo e também promove a redução do ruído dentro da edificação, porém, ocorre um aumento do ruído do lado externo. Além do fato de que a unidade que esfria o ar e a unidade que dissipa do calor estão separados, a capacidade é maior (em função dos trocadores de calor e compressores serem maiores), porém não existe diferença no princípio de funcionamento entre um sistema do tipo *split* e um ar condicionado do tipo janela (BRAIN, 2009).

O *Split Hi Wall* Inverter, possui um eficiente controle no compressor que alterna as velocidades de rotação otimizando a utilização de energia. Dessa forma, o aparelho trabalha somente o necessário para atingir e manter a temperatura selecionada, eliminando o liga/desliga e reduzindo o consumo de energia podendo chegar a uma economia de 40% se comparado aos aparelhos *splits* convencionais, o que lhe confere o Selo Procel de eficiência energética em todos os modelos (CARRIER, 2011).

O ar condicionado VRF (*Variable Refrigerant Flow*) é um sistema de expansão direta onde o fluxo de gás refrigerante é variável, consiste de um condensador dotado de compressor *scroll* com velocidade variável via um controlador de capacidade denominado inversor de frequência (inverter). Cada condensadora pode manejar uma quantidade máxima de evaporadoras (dependendo do modelo e fabricante). Isto permite ao sistema manter um equilíbrio constante entre a demanda do sistema e a capacidade fornecida a cada unidade evaporadora. Conta também com um sistema integrado de controle que já disponibiliza interface com automação própria, *Lon Works* entre outros. Sua aplicabilidade atende especificações de um sistema de água gelada (*water chiller*), tanto na capacidade de condicionar amplos ambientes quanto na possibilidade de dimensionamento levando-se em consideração a simultaneidade de carga térmica ao longo do dia (CARRIER, 2011).

Assim, tratando-se de eficiência energética o aparelho condicionador de ar de janela apresenta em sua categoria a menor eficiência se comparado aos condicionadores de ar *split*, porém, a maioria dos aparelhos *split* não prevê a troca do ar nos ambientes, o que afeta a qualidade do ar.

4.2 CONFORTO TÉRMICO

Lamberts (2005) define o conforto térmico como o estado mental que expressa à satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. Sua não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente.

O conforto térmico, definido pela ABNT (NBR 15220, 2008), "*é a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente*".

Para Fanger (1972), o conforto térmico é estabelecido quando ocorre a neutralidade térmica, ou seja, quando uma pessoa não prefere nem mais calor nem mais frio, com relação ao ar do ambiente em que se encontra.

O balanço térmico desejado vai depender das variáveis que interferem no trabalho do sistema termorregulador, que podem ser pessoais e ambientais. As variáveis pessoais são a taxa de metabolismo e o isolamento térmico da vestimenta. As ambientais podem ser classificadas em gerais e locais. As variáveis ambientais gerais

são a temperatura radiante média, umidade, temperatura e velocidade relativa do ar, enquanto as variáveis ambientais locais, responsáveis pelo desconforto localizado, são a assimetria de temperatura radiante, a diferença vertical de temperatura do ar e a temperatura do piso. Esta combinação satisfatória das variáveis que leva a sensação de bem estar que chamamos de conforto térmico (PRADO, 2003).

Tratando-se das variáveis ambientais, elas podem ser medidas em campo ou determinadas para um dado ambiente, já para as pessoais os valores variam sensivelmente. Isto é, a avaliação do conforto térmico depende das pessoas. Conforme a definição clássica da ISO 7730 (1994), conforto térmico é "uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico" (PRADO, 2003).

Pesquisas do conforto térmico levaram ao desenvolvimento de normas para projetos de condicionadores de ar, para que elas produzam condições térmicas adequadas ao ser humano no ambiente.

4.3 CARGA TÉRMICA

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada (resfriamento) ou colocada (aquecimento) no recinto para que o mesmo se mantenha a temperatura e umidade constantes. Seu conhecimento é indispensável para dimensionamento de instalações, bem como na escolha de equipamentos.

É necessário frisar que em um cálculo de estimativa de carga térmica deve-se levar em consideração fatores internos e externos que influenciam nas variações de temperatura e umidade do local estudado. As propriedades físicas dos materiais que envolvem o ambiente, ventilação, infiltração, insolação, dados geoclimáticos como altitude, localização geográfica e temperatura, são os fatores externos. Internamente, fatores como número de ocupantes, tipo de atividade desenvolvida, dissipação térmica de lâmpadas e equipamentos, denominada fontes de calor, dentre outros elevam esta carga. As somas dessas fontes de calor afetam as trocas térmicas do recinto que provocam a variação da temperatura, podendo gerar desconforto térmico. A carga térmica de um recinto é a soma dos ganhos do calor interno (pessoas, equipamentos, iluminação) e externo (insolação).

Os valores de consumo de energia elétrica dos condicionadores de ar brasileiros apresentados em seus manuais são resultados obtidos em laboratórios, com condições padronizadas de ensaio (temperatura bulbo seco e úmido, vazão do ar, etc) de acordo com

a ABNT (NBR 12010, 1990). No entanto, os condicionadores de ar instalados no Brasil operam em condições climáticas distintas nas cinco regiões do país.

Em pesquisa, Borduni (2007) estudou o impacto na carga térmica pelo uso de elementos de sombreamento externo, através de simulação computacional feita pelo *Energyplus,* que é uma ferramenta que permite a simulação da carga térmica e a análise energética da edificação. Os resultados comprovaram que a alternativa de uso de *brise* na fachada, com agendamento de funcionamento e o *brise* totalmente fechado foram às soluções que representaram as melhores respostas, em seguida a alternativa de utilização de marquises com 2 metros de comprimento. O autor destacou que, pelo fato de não poder utilizar as duas alternativas simultaneamente, um conjunto proposto como melhor alternativa seria a utilização de películas no vidro e *brise*. Assim, foi adotada como a melhor configuração a situação do *brise* móvel, pois este permite que em parte do dia haja fachada aberta, permitindo que a vista do ambiente externo seja contemplada. O autor ressalta que o *brise* móvel pode ser movimentado através de motores de passo, tornando o processo de sombreamento automatizado. Deve-se destacar que o uso da automação, no caso do *brise* móvel, contribui para a economia de energia elétrica com o aproveitamento da iluminação natural e sombreamentos de maneira simultânea.

Roaf et al. (2001) relatam que, os EUA possuem 4% da população mundial e anualmente mais de 40% da eletricidade gerada é usada em sistemas de condicionadores de ar. Ressaltando que, não é incomum para os engenheiros de aquecimento e ventilação não se preocuparem com as janelas fixas ao longo de um edifício, pelo fato dos cálculos serem complexos. Assim, muitos edifícios usam o ar condicionado durante todo o ano, enquanto talvez somente um, dois ou três meses seriam necessários como estratégia para amenizar o desconforto.

Dentre os objetivos do presente trabalho, trata-se da aplicação do Regulamento Técnico (RTQ-C) no requisito condicionador de ar, onde o Regulamento estabelece que os aparelhos de condicionadores de ar estejam adequados com a carga térmica do ambiente. Portanto, com o objetivo de avaliar a capacidade térmica dos condicionadores de ar, foi realizado cálculos da carga térmica em todos os ambientes.

Esta pesquisa faz uso de alguns métodos encontrados na literatura nacional e norma brasileira (NBR 16401, 2008) com objetivo de se fazer uma análise preliminar e ter um entendimento das variáveis que influenciam no cálculo da carga térmica, bem como

verificar se as potências dos condicionadores de ar instalados estão compatíveis com o cálculo efetuado por esses métodos.

Em seguida, é realizada a simulação da carga térmica através do software *Energyplus* para então analisar e avaliar os resultados obtidos.

4.3.1 Método de Negrisoli (1987)

Trata-se de um método simplificado que serve de orientação preliminar para previsão aproximada da potência para os condicionadores de ar (NEGRISOLI, 1987). Para a determinação da carga térmica do local a condicionar este método seguiu a sequência:

a) Cálculo da carga térmica em função do volume e multiplicação por uma constante extraída da Tabela 2, em kcal/h para cada m³.

Tabela 2: Fator para carga térmica em função do volume do recinto.

$kcal/(h.m^3)$	
Entre andares	Sob telhados
16,00	22,33

Fonte: NEGRISOLI (1987).

b) Levantamento das áreas das janelas, existência de cortinas e quais períodos de incidência do sol (manhã ou tarde); que multiplicado pelo fator (Tabela 3) determina a quantidade de kcal/h por m² de janela nas condições observadas.

Tabela 3: Fator para a carga térmica em função da área das janelas.

$kcal/(h.m^2)$				
com cortina		sem cortina		Vidros na sombra
Sol da manhã	Sol da tarde	Sol da manhã	Sol da tarde	
160	212	222	410	37

Fonte: NEGRISOLI (1987).

c) Levantamento do número de pessoas que permanecem no local que multiplicado pelo fator de 125 kcal/h/pessoa fornece o valor do calor produzido pelas pessoas no recinto.
d) No que se referem às frestas, aqueles vãos que permanecem constantemente abertos, deve-se calcular a área destes vãos e multiplica-los por 125 kcal/h/m².
e) Os aparelhos elétricos existentes dentro do recinto como luminárias, computadores, etc, deve-se considerar um fator 0,9 kcal/h/watt multiplica-los pela potência total dos aparelhos dentro do ambiente.

O método não faz nenhuma menção a zona bioclimática, latitude, altitude, orientação da edificação, etc. Para se conhecer a carga térmica total do ambiente somam-se todas as cargas discriminadas anteriormente.

4.3.2 Estimativa da Carga Térmica de Verão (CREDER, 2004a).

O procedimento de cálculo para este método faz simplesmente uma estimativa da carga térmica de verão em função da área do recinto. Utilizam-se constantes extraídas de tabelas, cujos valores dependem da atividade a ser realizada no recinto. Por exemplo, para escritórios de padrão médio a constante vale 462,86 BTU/h por m² (CREDER, 2004a). Essas constantes foram calculadas tomando-se como base os valores de temperatura e umidade relativa que abrangem as características das principais cidades brasileiras.

Tabela 4: Estimativa da carga térmica de verão

Tipo de carga	Categoria	Total BTU/h/m²	m²/ton	m³/h/m²	m²/pessoa	Kcal/h/m²
Bancos	Baixo	376,75	31,8	20,1	2,42	94,9
	Médio	570,71	21,0	32,9	4,92	143,8
	Alto	807,32	14,8	45,7	7,43	203,4
Escritórios em geral	Baixo	236,81	50,6	12,8	2,97	590,6
	Médio	462,86	25,9	25,5	9,76	116,6
	Alto	775,03	15,5	40,2	25,83	195,2

Fonte: Adaptada de CREDER (2004).

De acordo com a Tabela 4, na primeira coluna é apresentada o tipo de utilização do ambiente e na segunda coluna a sua categoria. Para o cálculo de vazão os

valores são apresentados na terceira, quarta e quinta coluna. Dessa forma, na terceira coluna os valores de constantes são apresentados em BTU/h por metro quadrado, a quarta coluna esta constante é dada por m²/Tonelada e na quinta coluna em m³/h por metro quadrado. Para o cálculo da ocupação média do recinto de acordo com o número de pessoas, na sexta coluna é apresentada uma constante em m²/pessoa e na sétima coluna em kcal/h por metro quadrado. O cálculo poderá fornecer a carga térmica em TR.

4.3.3 Método do Creder (2004b).

Este método determina a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada ou colocada no recinto, a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas (CREDER, 2004b). O método calcula as cargas térmicas introduzidas no recinto por condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação.

No procedimento de cálculo por condução define-se primeiramente o tipo de material das paredes, teto e piso, e calcula-se a condutividade ou condutância térmica. A partir dessas informações aplica-se a equação 1a ou1b.

Material homogêneo: $$Q = \frac{A \cdot K \cdot D}{x} \qquad (1.a)$$

Material não homogêneo: $$Q = A \cdot C \cdot D \qquad (1.b)$$

Sendo:

Q: Fluxo de calor em Kcal/h;

A: Área em m²;

K: Condutividade térmica do material por unidade de comprimento e unidade de área em kcal/h.m.°C;

C: Condutância em kcal/h. m²°C;

x: Espessura do material em m;

D: Diferença de temperatura entre duas superfícies em °C;

O coeficiente global de transmissão de calor (U) trata do fluxo de calor por hora através de um m² de superfície para cada 1°C de diferença de temperatura, entre os ambientes, é a função das propriedades térmicas, termodinâmica do ar interno e externo, as velocidades do ar nas paredes externa e interna, e da resistência térmica da parede.

Porém, quando se usam vários materiais nas paredes que separam os ambientes, em cálculos mais precisos, utilizam-se as resistências que cada material

opõe ao fluxo. Estas resistências são os inversos das condutâncias e são somadas do mesmo modo que as resistências em série de um circuito elétrico (CREDER, 2004). Os valores da condutividade térmica dos materiais usados na edificação foram extraídos da norma NBR 15220-2/2008, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades térmicas dos materiais.

Materiais	Condutividade térmica - λ [W/(m.K)]
tijolo Cerâmico	0,90
reboco	1,15
concreto	1,75
vidro	1,0

Fonte: NBR 15220-02(2008).

No cálculo da carga térmica devido à transmissão de calor por superfícies transparentes (vidro), Creder (2004) afirma que a energia oriunda do sol incidente em uma superfície transparente subdivide-se em três partes: refletida (q1), absorvida pelo vidro (q2) e a que atravessa do vidro (q3), conforme Figura 16.

$$Q = q1 + q2 + q3$$

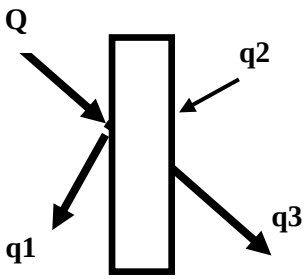


Figura 16 – Transmissão do calor solar através de vidro.
Fonte: Adaptada de CREDER (2004b).

Dessa forma, a parcela q3 que penetra no recinto é a que vai ser considerada no cálculo da carga térmica. Neste cálculo, é preciso levar em conta o horário crítico da incidência direta da radiação solar e as dimensões da superfície envidraçada. O coeficiente de fator solar foi obtido de Frota (2001), para a latitude 17ºS, sendo o mais indicado para a latitude de Cuiabá (15º) conforme Tabela 6. Para o cálculo do coeficiente de fator solar, a Norma (NBR 16401-1, 2008) estipula um método para gerar um perfil teórico das temperaturas de bulbo seco e úmido no dia de projeto, que permite avaliar com exatidão aceitável a evolução da carga térmica ao longo das 24

horas do dia, oferecendo uma tabela com valores de temperatura e umidade de 34 cidades brasileiras.

Tabela 6: Coeficiente de transmissão do calor solar através de vidros (fator solar).

17º Lat. Sul		Kcal/h . m² (fator solar) de área de vidro												
Verão		Horas do dia												
Dia	Face	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
22 Dezembro	S	99	226	242	235	208	191	179	191	208	235	242	226	99
	SE	213	549	636	605	481	325	146	68	63	58	43	38	19
	E	213	574	382	655	509	309	65	68	63	58	43	38	19
	NE	99	281	350	355	276	152	65	68	63	58	**43**	38	19
	N	18	38	43	58	63	68	65	68	63	58	43	38	19
	NW	18	38	43	58	63	68	65	152	276	355	350	281	99
	W	18	38	43	58	63	68	65	309	509	655	682	574	213
	SW	18	38	43	58	63	68	146	325	481	605	**636**	549	213
	*	61	283	525	786	978	1100	1133	1100	978	786	**525**	283	61

*Clarabóia **Fonte:** Adaptada de FROTA (2001).

A carga térmica devido a transmissão de calor por superfícies opacas, é a energia transmitida por condução e convecção obtida seguindo a equação 2:

$$Q = A \cdot U \cdot [(t_e - t_i) + \Delta t] \qquad (2)$$

Sendo:

Q: kcal/h;

A: Área em m²;

U: Coeficiente global de transmissão de calor (kcal/h/m².ºC);

te: Temperatura externa ºC;

ti: Temperatura interna ºC;

Δt: Acréscimo ao diferencial de temperatura.

A Tabela 7 apresenta os valores do acréscimo ao diferencial de temperatura.

Tabela 7: Acréscimo ao Diferencial de Temperatura - Δt em ºF e em ºC.

Superfície	Cor escura		Cor média		Cor clara	
	ºF	ºC	ºF	ºC	ºF	ºC
Telhado	45	25,0	30	16,6	15	8,3
Parede E ou W	30	16,6	20	11,1	10	5,5
Parede N	15	8,3	10	5,5	5	2,7
Parede S	0	0	0	0	0	0

Fonte: Adaptada de CREDER (2004).

O acréscimo ao diferencial de temperatura é a diferença que varia com a orientação da superfície, cor da parede ou proteção da janela extraída através da Tabela 7 que o método oferece, em ºF e ºC.

Nos projetos de condicionamento de ar, é considerada a transferência de calor através dos dutos de distribuição de ar resfriado. No estudo realizado, os condicionadores de ar não possuem dutos, desta forma esse item não foi considerado no cálculo.

Em seguida, para o cálculo da carga devido às pessoas é considerado o calor sensível e latente emitido pelo ser humano (ºF ou ºC) em função da temperatura ambiente e atividade que as pessoas estão realizando.

A carga térmica devido aos aparelhos elétricos foi calculada considerando somente o sistema de iluminação, pois são os únicos aparelhos elétricos existentes nas salas. Para se chegar a carga térmica em kcal/h, o método utiliza a relação de 1 kWh = 860 kcal, que deve ser encontrada a partir da potência total dos equipamentos de iluminação.

No cálculo da carga térmica devido às infiltrações empregou-se no estudo o método das frestas, calculado através da quantidade de infiltração de ar exterior; dos tipos de aberturas (portas, janelas), multiplicado pelo comprimento das frestas, em seguida é aplicado a equação 3 da carga de calor sensível(qs) e latente(ql):

$$q_s = Q \cdot 0{,}29 \cdot (t_e - t_i) \qquad (3)$$

$$q_l = 583 \cdot C$$

Calor sensível:
qs: Calor sensível, em kcal/h;
Q: Vazão de ar em m³/h;
te e ti: Temperatura externa e interna respectivamente.

Calor Latente:
ql: Calor latente, em kcal/h;
C: (UE2 – UE1) x γ x Q;
UE2: Umidade específica do ar no interior em kg/kg;
UE1: Umidade específica do ar na entrada em kg/kg;
Q: Fluxo de ar em m³/h.

No processo de condicionamento de ar, o ar insuflado retorna ao equipamento de refrigeração impulsionado pelo ventilador, parte deste ar é perdida pelas frestas, aberturas, necessitando ser preenchida pelo ar exterior. Além deste ar que completa as perdas, há o ar necessário às pessoas, para isso é necessário se conhecer a finalidade de uso (lojas, salas de aula, etc.), o número de pessoas, a quantidade de ar necessária às pessoas (m³/h/pessoa), a temperatura interior e exterior, umidade absoluta do ambiente interno e externo, que estão disponíveis em tabelas. Estas informações são usadas para calcular a parcela de carga térmica sensível e latente através da equação 3.

4.3.4 NBR 16401/2008 Instalações de Ar Condicionado - Sistemas Centrais e Unitários

A NBR 16401/2008 baseia-se à ASHRAE (1997) que é uma associação conhecida mundialmente sobre sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar. Por tratar-se de norma internacional, os cálculos de fluxos de calor apresentam dados de radiação solar de cidades americanas. A Universidade Federal de Santa Catarina vem desenvolvendo estudos a respeito da eficiência energética nas construções, que juntamente com o PROCEL em 1997 publicou o livro Eficiência Energética na Arquitetura, no qual consta entre outros tópicos, o cálculo da carga térmica baseada também na ASHRAE de maneira didática e apresentando dados das cidades brasileiras. Assim, para o cálculo da carga térmica de acordo com a NBR 16401/2008, foi utilizada os procedimentos de Lamberts (1997) e também do livro Refrigeração e Ar Condicionado de Menezes (2010), que utiliza em seus procedimentos de cálculo a Norma Brasileira e o livro de Lamberts.

Alfredo (2011) em sua pesquisa apresenta uma análise crítica da NBR 16401/2008; ao falar da carga térmica enfatiza que sua atualização foi muito tardia, pois devido a sua última versão datava de 1980 (NBR 6401, 1980). Entre as demais cargas, no cálculo da vazão de ar externo segundo a NBR 6401/1980 era determinada pela quantidade de pessoas no ambiente (17m³/h/pessoa) e a NBR 16401/2008, baseada na ASHRAE 62.1, considera a vazão por pessoa, vazão por área útil ocupada, quantidade de pessoas por zona de ventilação e área útil ocupada. Assim, totalizando em uma vazão eficaz em litros por segundo (l/s). O autor relata que a norma anterior previa a existência ocasional de fumantes no ambiente e a norma atual é baseada na proibição de se fumar no ambiente condicionado.

Assim, a carga térmica por;

a) Condução.

É a parcela de calor sensível transmitido através das superfícies opacas que limitam o ambiente por condução, Menezes (2010), baseada na ASHRAE, apresenta a seguinte equação:

$$Q_{fo} = q_{fo} \cdot A_{fo} \qquad (4)$$

onde:

$$q_{fo} = U \cdot \Delta t$$

Q_{fo}: Taxa de transferência de calor, W;
A_{fo}: Área total da superfície, m²;
U: Coeficiente global de transferência de calor entre adjacentes e espaço climatizado, W/(m².K);
ΔT: Diferença de temperatura interna e externa.

Para os valores de U que é a transmitância térmica de calor em W/(m².K), foi utilizado a NBR 15220-2/2008, cujos cálculos encontram-se no apêndice B.

No cálculo de condução pelo fechamento transparente (vidros) o comportamento é semelhante ao do fechamento opaco, através da equação 5.

$$Q_A = q_A \cdot A_A \qquad (5)$$

onde:

$$q_A = U \cdot \Delta T$$

q_A: W/m²;
U: Coeficiente de transferência de calor global entre adjacentes e o espaço climatizado, W/(m².K);
A_A: Área total de aberturas de vidro, m²;
ΔT: Diferencial de temperaturas entre superfícies em k.

b) Radiação Solar

b.1) Vidros

$$Q_s = q_s \cdot A_s \qquad (6)$$

onde:

$$q_s = F_s \cdot I$$

q_S: W/m²;
A_S: Área total de aberturas de vidro que recebe insolação, m²;
F_S: Fator solar do vidro;
I: Radiação solar de acordo com a latitude da abertura, W/m².

Fator Solar (F_S) de uma abertura é a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide. Valor este característico para cada tipo de abertura, para o vidro simples, com incidência direta da radiação solar foi considerado 0,87, isto é, 87% da radiação solar incidente penetra no recinto. Identificando assim como o uso de vidros com fatores solares baixos reduziria a entrada de calor em um ambiente (LAMBERTS, et al.1997).

A trajetória do sol na abóbada celeste é diferente para cada orientação e latitude, os valores de radiação solar (I) para a abertura em questão é encontrado através de tabelas com valores para céu aberto representativos dos valores máximos de radiação solar para o local. A ASHRAE oferece tabelas de radiação solar somente de cidades americanas. Dessa forma, para o presente método foi utilizado os dados de radiação solar incidente com a latitude 17° de Frota (2001), assim como no método anterior Creder (2007), por se aproximar ao do local de estudo (Cuiabá, latitude 15º), conforme Tabela 6.

b.2) Superfícies Opacas.

$$Q_{fo} = q_{fo} \cdot A_{fo} \qquad (7)$$

onde:

$$q_{fo} = U(\alpha \cdot I \cdot R_{se} + \Delta T)$$

q_{fo}: W/m²;
U: Coeficiente de transferência de calor global entre adjacentes e o espaço climatizado, W/(m².K);
A_{fo}: Área do fechamento, m²;
α: Absortividade em função da cor, ver Tabela 8;
I: Valor máximo de fator solar referente a 22 de dezembro (verão), ver Tabela 6;
R_{se}: Resistência Superficial externa, ver Tabela B1 (apêndice B);
ΔT: Diferencial de temperatura entre as superfícies, k.

Os materiais de construção são seletivos à radiação de onda curta (radiação solar) e a principal determinante desta característica é sua cor superficial (Tabela 8), os valores da absortividade do material em função da cor foram baseados de Lamberts (1997).

Tabela 8: Absortividade em função da cor.

CORES	α
Escuras	0,7 a 0,9
Médias (tijolos)	0,5 a 0,7
Claras	0,2 a 0,5

Fonte: Adaptada de LAMBERTS (1997).

No cálculo da carga térmica devido às pessoas, que correspondem às parcelas de calor sensível e latente liberada pelos ocupantes do ambiente, a NBR 16401/1 apresenta uma tabela das taxas típicas de calor liberado por pessoas de acordo com o nível de atividade e é calculada através da equação 8.

$$Q_{St} + Q_{Lt} \qquad (8)$$

onde:

$$Q_{St} = Q_S \cdot n \qquad Q_{Lt} = Q_L \cdot n$$

Q_s: Calor liberado por pessoa e por hora (Tab.C1 da parte 1 da NBR 16401/2008);
n: Número de ocupantes do ambiente.
Q_L: Calor latente.

c) Iluminação.

A NBR 16401/1 apresenta também uma tabela das taxas típicas de dissipação de calor pela iluminação, de acordo com o local e é seguida pela equação 9.

$$Q_I = Q_r \cdot Q_l \quad (9)$$

onde:

$Q_r = q_r \cdot z$

$Q_i = q_l \cdot x$

q_r: Perda de energia nos reatores (Tab.C2 da parte 1 da NBR 16401/2008);
z: Número de reatores;
q_l: Potência das lâmpadas;
x: Número de lâmpadas.

d) Infiltração.

O cálculo da carga térmica devido as frestas é fornecido pela equação 10, a ASHRAE adota uma infiltração de 10% do volume total de ar do ambiente a cada hora.

$$Q_{IA} = Q_{SE} + Q_{LA} \quad (10)$$

O calor sensível Q_{SE} é calculado pela equação 11.

$$Q_{SE} = \rho \cdot c \cdot V \cdot \Delta T \quad (11)$$

onde:

ρ: 1,2 kg/m³, (densidade do ar);
c: 1.000 J/kg K, (calor específico do ar);
ΔT: Diferença de temperatura entre interior e exterior (°C).
V: Volume de ar trocado no ambiente a cada segundo (m³/s);
Infiltração: 0,1

O valor de V será:

$$V = \frac{Infiltração \cdot Volume\ do\ ambiente\ (m^3)}{3600} \quad (12)$$

Para o cálculo do calor latente Q_{LA} da carga térmica devida as frestas equação 13, é preciso conhecer os valores da temperatura e umidade relativa ou absoluta do ar exterior e interior para assim conhecer a diferença entálpica de acordo com a carta psicrométrica.

$$Q_{LA} = V \cdot \rho \cdot \Delta h \quad (13)$$

onde:

ρ : 1,2 kg/m³ (densidade do ar);

V: Volume de ar trocado no ambiente a cada segundo (m³/s), o mesmo considerado no calculo do calor latente;

Δh: Diferença de entalpia do ar exterior e o ar interior do ambiente.

Onde:

$$\Delta h = E_{ex} - E_i$$

E_{ex} (Entalpia externa): 32°C; Umidade Absoluta = 0,021 kg de vapor/kg ar seco→Entalpia externa= 87 kj/kg ;

E_i(Entalpia interna): 25°C; Umidade Absoluta = 0,011 kg de vapor/kg ar seco→Entalpia interna = 53 kj/kg .

Os valores de temperatura interna e externa, bem como da umidade absoluta foram empregadas os mesmos considerados nos métodos prescritivos anteriores para obter parâmetros nas análises dos métodos.

e) Ventilação.

O cálculo da carga térmica devido a ventilação é fornecida pela equação 14.

$$V_{ef} = \left(P_z \cdot F_p\right) + \left(A_z \cdot F_A\right) \quad (14)$$

onde:

V_{ef}: Vazão eficaz de ar exterior (L/s);

P_Z: Número máximo de pessoas na zona de ventilação;

F_p: Vazão por pessoa em L/s*pessoa; (Tab.1 da parte 3 da NBR 16401/2008);

A_z: Área útil ocupada pelas pessoas, expressa em m²;

F_A: Vazão por área útil ocupada em L/s*m²; (Tab.1 da parte 3 da NBR 16401/2008);

Em seguida calcula-se a carga térmica da ventilação através da equação 15 onde o valor do volume é substituído pelo da vazão eficaz.

$$Q_{ve} = V_{ef} \cdot \rho \cdot \Delta h \quad (15)$$

onde:

ρ : 1,2 kg/m³ (densidade do ar);

V: Vazão eficaz (L/s);

Δh: Diferença de entalpia do ar exterior e o ar interior do ambiente.

4.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA CARGA TÉRMICA PELO *ENERGYPLUS*

O *EnergyPlus* é um software capaz de realizar o cálculo das cargas térmicas, avaliação das condições de conforto térmico e desempenho energético de edificações. O uso de programas computacionais tem contribuído em muito na busca de soluções para a área energética, seja na escolha de um sistema de condicionamento de ar eficiente, de lâmpadas e luminárias de alto rendimento, no projeto de proteções solares, na instalação de um sistema de co-geração ou até mesmo na análise das contas de energia elétrica de uma edificação (MELO, 2007).

O *EnergyPlus*, internacionalmente conhecido, possibilita simulações confiáveis de diversos tipos de projetos, sistemas construtivos e condicionamento de ar. Foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir de dois outros softwares, o BLAST e o DOE-2.

Para realizar uma simulação no *Energyplus* é necessário, inicialmente, modelar a geometria e os componentes construtivos da edificação. A modelagem da geometria é realizada através de coordenadas cartesianas. Na presente pesquisa será realizada toda esta modelagem com o objetivo de simular os cálculos de carga térmica, para assim comparar com os demais métodos empregados na pesquisa, bem como, com a Norma - NBR 16401/2008.

4.5 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS (RTQ-C) NO REQUISITO CONDICIONADOR DE AR.

O Regulamento Técnico da Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público (RTQ-C) foi publicado em fevereiro de 2009 no Brasil, como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), cujos objetivos são de estabelecer as condições para classificação do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, a fim de obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) emitida pelo INMETRO. Essa classificação do INMETRO aplica-se a edifícios com uma área total útil mínima de 500m² ou atendidos por uma tensão superior ou igual a 2,3kV ou inferior a 2,3kV atendido pelo sistema subterrâneo e tarifado pelo sistema. Entretanto sua aplicação ainda é voluntária, visto que ainda é preciso adaptar o mercado, profissionais e consumidores aos conceitos de eficiência.

Com a finalidade de se obter a classificação da edificação é necessário uma avaliação dos requisitos recomendados no (RTQ-C), que está dividido em quatro partes: classificação da envoltória, eficiência e potência instalada do sistema de iluminação, eficiência do sistema de condicionamento de ar e a edificação como um todo (ou parte desta). Todos os requisitos possuem níveis de eficiência que variam de A a E , respectivamente entre mais e menos eficiente.

O regulamento define o nível de eficiência de uma edificação através de dois métodos: o prescritivo e a simulação. O método prescritivo define pré-requisitos gerais e específicos para cada um dos itens sob análise. A simulação é realizada através de dois modelos computacionais representando dois edifícios: o modelo real e o de referência (RTQ-C, 2010).

A equação que define a pontuação da edificação geral (equação 16) é composta por uma relação de pesos para cada sistema e pelo equivalente numérico de seu nível parcial de eficiência, Sendo que os pesos estão assim distribuídos: envoltória = 30%, iluminação = 30% e condicionamento de ar = 40%.

$$PT = 0{,}30\left[\left(EqNumEnv\frac{AC}{AU}\right) + \left(\frac{APT}{AU}\cdot 5 + \frac{ANC}{AU}\cdot EqNumV\right)\right] + 0{,}30(EqNumDPI) + 0{,}40\left[\left(EqNumCA\frac{AC}{AU}\right) + \left(\frac{AC}{AU}\cdot 5 + \frac{ANC}{AU}\cdot EqNumV\right)\right] + b_0^1 \quad (16)$$

onde:

EqNumEnv:	É o equivalente numérico da envoltória;
EqNumDPI:	É o equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;
EqNumCA:	É o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;
EqNumV:	É o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;
APT:	É a área de piso dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;
ANC:	É a área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;
AC:	É a área de piso dos ambientes condicionados;
AU:	É a área útil;
b:	É a pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

A classificação da eficiência do sistema de condicionamento de ar pode ser realizada para sistemas individuais ou sistemas centralizados. Os condicionadores de ar tipo janela e *split* possuem suas eficiências avaliadas e classificadas pelo PBE/INMETRO conforme informações constantes nas Tabelas 9 e 10. Já os aparelhos que não são abrangidos por nenhuma norma de eficiência do INMETRO são avaliados através do seu desempenho em relação a certos níveis fornecidos pelo RTQ-C.

O calculo da carga térmica é um pré-requisito para a etiquetagem dos condicionadores de ar, dessa forma, o estudo da carga térmica foi realizado primeiramente antes da avaliação dos condicionadores para efeito de etiquetagem.

A classificação do INMETRO é baseada no índice de eficiência energética do equipamento, que é definida como sendo a razão entre a sua capacidade de refrigeração e a potência do equipamento. A classe de eficiência energética de cada modelo, é representada por uma letra de A a E, simbolizando o nível de eficiência do modelo em questão. Nas tabelas 9 e 10 encontram- se as classes de eficiência com os coeficientes de desempenho mínimo para cada categoria. A classificação do sistema de condicionamento de ar permite classificações parciais, podendo-se certificar apenas uma sala, um piso ou parte de um edifício.

Tabela 9 – Tabela INMETRO – Condicionador de ar

CONDICIONADOR DE AR JANELA — **Data atualização: 29/12/2011**

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W) (*)												Total de modelos por classe
	Categoria 1 ≤9.495 kJ/h ≤9.000 BTU/h			Categoria 2 9.496 a 14.769 9.001 a 13.999			Categoria 3 14.770 a 21.099 14.000 a 19.999			Categoria 4 ≥ 21.100 ≥ 20.000			
A	≥ 2,91	53	64,6%	≥ 3,02	38	56,7%	≥ 2,87	9	42,9%	≥ 2,82	7	33,3%	107
B	≥ 2,68	18	22,0%	≥ 2,78	20	29,9%	≥ 2,70	5	23,8%	≥ 2,62	8	38,1%	51
C	≥ 2,47	11	13,4%	≥ 2,56	9	13,4%	≥ 2,54	2	9,5%	≥ 2,44	1	4,8%	23
D	≥ 2,27	0	0,0%	≥ 2,35	0	0,0%	≥ 2,39	4	19,0%	≥ 2,27	0	0,0%	4
E	≥ 2,08	0	0,0%	≥ 2,16	0	0,0%	≥ 2,24	1	4,8%	≥ 2,11	5	23,8%	6
	82 un			67 un			21 un			21 un			191 un

Fonte: INMETRO, disponível em: <www.inmetro.gov.br>
Acesso em: 8/02/2012

Tabela 10 – Tabela INMETRO – Condicionador de ar Split

CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL — **Data atualização: 30/11/2011**

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)			Split Hi-Wall			
				Rotação Fixa		Rotação Variável	
A	3,20	<CEE		226	25,3%	122	83,0%
B	3,00	<CEE≤	3,20	178	19,9%	17	11,6%
C	2,80	<CEE≤	3,00	294	32,9%	8	5,4%
D	2,60	<CEE≤	2,80	159	17,8%	0	0,0%
E	2,39	≤CEE≤	2,60	36	4,0%	0	0,0%
				893 un		147 un	

Fonte: INMETRO, disponível em: <www.inmetro.gov.br>
Acesso em: 8/02/2012

Este trabalho apresenta os resultados de uma avaliação da eficiência energética dos condicionadores de ar do Bloco da Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, seguindo os procedimentos estabelecidos no RTQ-C.

5 METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO

O presente capítulo está subdividido em três tópicos:

- Área de estudo;
- Materiais utilizados;
- Etapas para o uso racional e eficiência dos condicionadores de ar.

5.1. ÁREA DE ESTUDO

A área onde se insere o objeto de estudo encontra-se dentro do campus universitário da Universidade Federal de Mato Grosso, na cidade de Cuiabá, conforme Figura 17. Especificamente, o bloco D da Engenharia Elétrica posicionado na latitude 15°36'27,56"S e longitude 56° 3'51,17"W, na direção NO, conforme Figura 18.

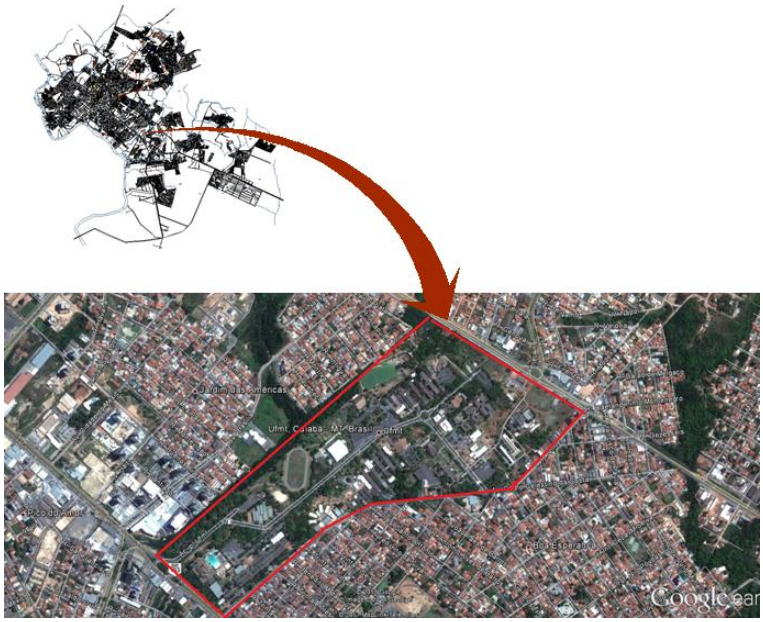


Figura 17– Localização da Universidade Federal de Mato Grosso.

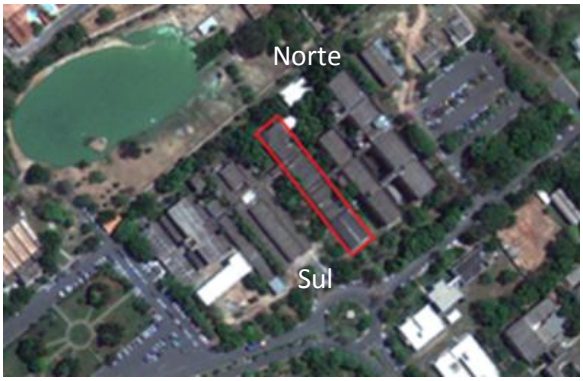


Figura 18– Bloco da Engenharia Elétrica no campus da UFMT.

A edificação é constituída de concreto armado, com paredes compostas de tijolos cerâmicos de 21 Furos (11 x 6 x 24cm) conforme Figura 19a, com reboco apenas de um lado, sendo que no pavimento térreo as paredes possuem no total 13 cm de espessura, e no pavimento superior as paredes possuem 24 cm de espessura, conforme Figura 19b.

a) b)

Figura 19– Parede do bloco da Engenharia Elétrica.

As salas de aulas do bloco em estudo possuem corredores com cobertura em todo seu comprimento, posicionados a nordeste e sudoeste da edificação, que a protege da radiação solar direta. Seu acabamento consiste no próprio tijolo cerâmico, com pintura de resina, piso de cerâmica vermelha 30 x 30 cm, janelas altas nas salas do pavimento térreo, janelas a partir de 1,0 m de altura e portas de ferro e vidro no pavimento superior conforme Figura 20.

Figura 20– Sombreamento bloqueando a incidência da radiação solar direta nas salas. Pavimento Superior

A edificação é composta por dois pavimentos conforme Figura 21.

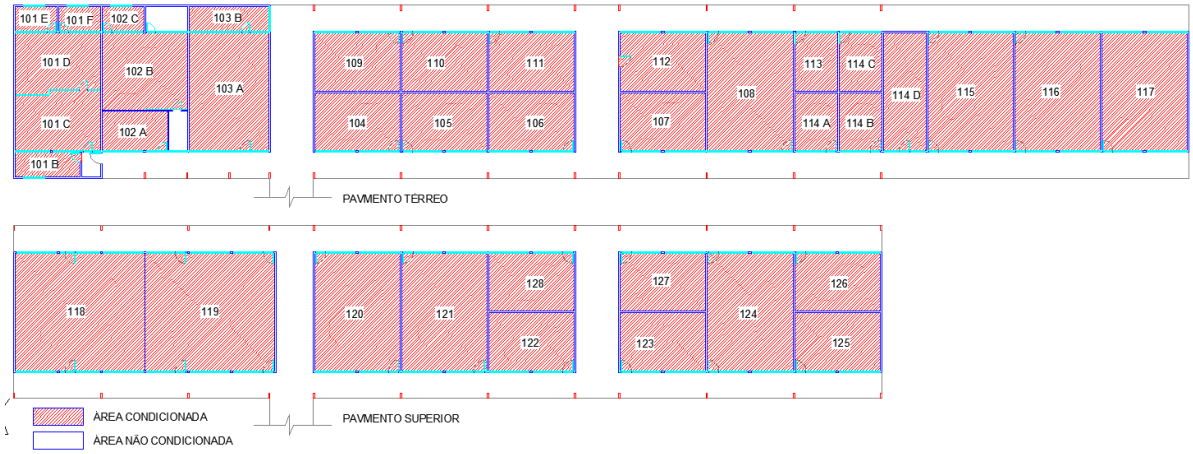


Figura 21– Planta Baixa da edificação em estudo – Pavimento térreo e superior

As paredes externas do pavimento superior são compostas por tijolos cerâmicos, argamassa, tijolos e reboco interno. As esquadrias de ferro e vidro e o teto composto de laje de concreto e telha de fibrocimento, o piso é composto de laje de piso e piso cerâmico. No pavimento térreo as paredes são compostas por tijolo, argamassa e reboco. A Tabela 11 apresenta as dimensões das principais salas.

Na Figura 22 mostram-se as partes constituintes da edificação, usadas para os cálculos nos métodos prescritivos e na simulação computacional.

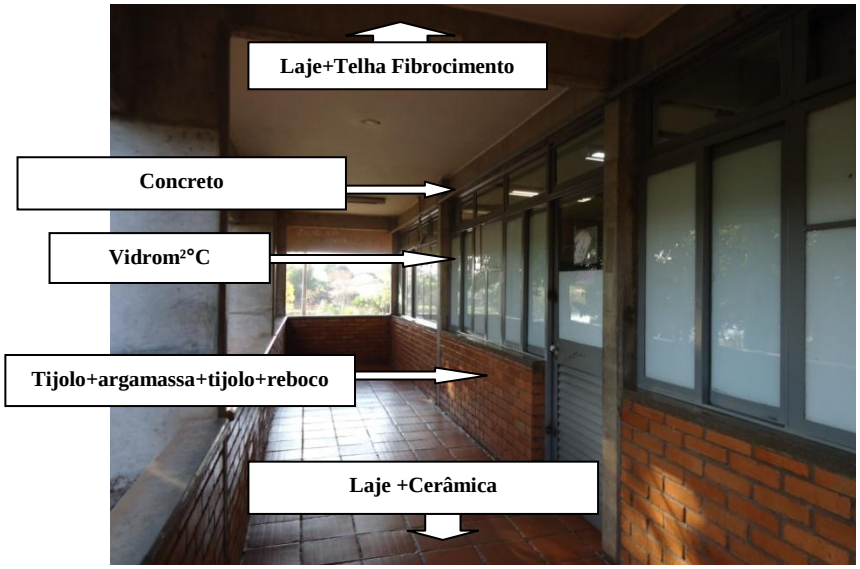


Figura 22–Elementos da edificação.

Tabela 11 – Características das salas

Salas	Dimensões C x L x h (m)	Vol. (m^3)
118	11,97 x 10,85 x 2,82	366,24
119	11,97 x 10,85 x 2,82	366,24
120	10,85 x 7,90 x 2,82	239,49
121	10,85 x 7,90 x 2,82	239,49
122	7,90 x 5,35 x 2,82	119,18

A cobertura é composta por telhas de fibrocimento, protegidas com platibandas em todo perímetro, bem como espaço para o recebimento das águas pluviais conforme Figura 23 e 24.

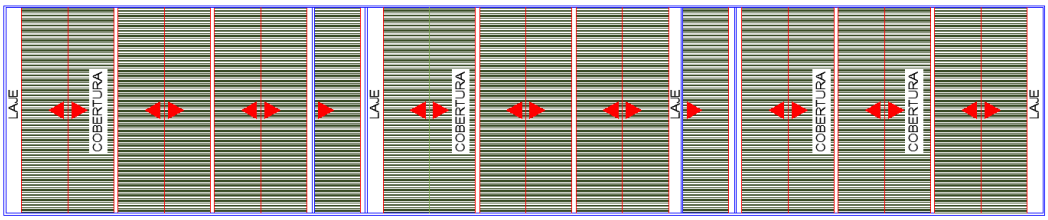


Figura 23– Cobertura.

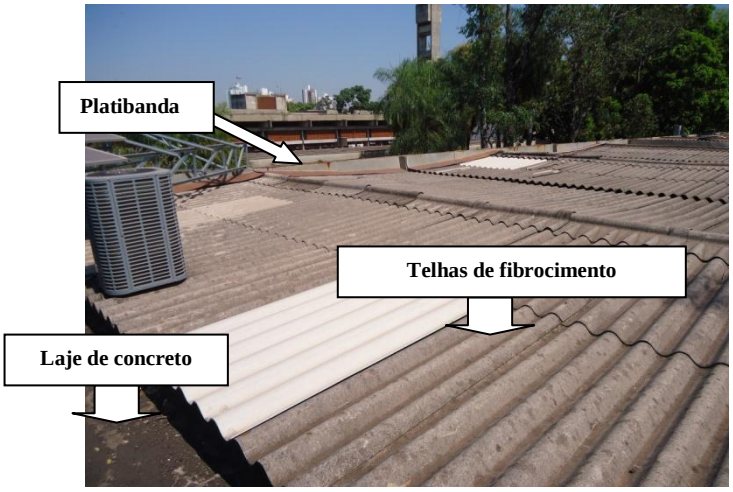


Figura 24– Telhado.

No pavimento térreo estão localizadas as salas de aulas e laboratórios e no pavimento superior são dispostas somente salas de aulas, conforme Figura 25.

Figura 25– Edificação em estudo

As salas de aulas possuem condicionadores de ar do tipo janela e *split*, aparelhos estes que foram instalados recentemente, isto é, a edificação inicialmente não foi projetada para uso com condicionadores de ar. Esta necessidade surgiu com o passar dos anos. A obra foi executada na década de 70, desde então vem recebendo adequações conforme a necessidade.

O quadro principal de distribuição de energia encontra-se dentro do laboratório de eficiência energética, local onde foram conectados os medidores de energia para realizar as medições iniciais (Figura 26a). O quadro terminal que alimenta os condicionadores de ar encontra-se localizado no pavimento superior (Figura 26b), responsável por levar os circuitos terminais a nove condicionadores de ar. Outros nove

condicionadores de ar são alimentados por um segundo quadro terminal localizado simetricamente ao primeiro, porém sem implementação da automatização.

(a) (b)

Figura 26 – Quadros elétricos de força; (a) quadro principal de distribuição de energia; (b) quadro terminal que alimenta dos condicionadores de ar

Na presente pesquisa, foram selecionadas cinco salas de aula para a realização da automatização dos condicionadores de ar, salas estas localizadas no pavimento superior, denominadas: 118, 119, 120, 121 e 122. Os condicionadores que receberam a automação são da marca *Fujitsu* ASB30A1 (unidade interna) e AOB30A1 e (unidade externa) de 31.200 BTU. A figura 27 ilustra o modelo e a tabela 12 descreve a especificação técnica.

Figura 27– Condicionadores de ar (ASB30A1)

Tabela 12 – Especificação técnica *Fujitsu* ASB30A1 e AOB30A1

				Linha High Wal
Modelo			Evap.	ASB30A1
			Cond.	AOB30A1
Capacidade	Refrigeração		BTU/h	31.200
	Aquecimento			-
Alimentação	(Volts) (60Hz)		V	220
Corrente Elétrica	Refrigeração		A	14.2
	Aquecimento			-
Consumo	Refrigeração		W	3.100
	Aquecimento			-
Eficiência	Refrigeração		BTU/W	10,06
	Aquecimento			-
Circulação de Ar (Alta)			m^3/h	1.050
Nível de ruído	Evap.		dB (A)	42x45x48
	Cond.			55
Dimensões	Evap	AxCxP	mm	320x1120x220
	Cond			900x900x350
Peso Líquido (Evapor./ Condens)			Kg	16/77
Distância máxima de tubulação entre as unidades			m	30
Altura máxima entre as unidades			m	15
Tubulação de cobre				3/8" e 5/8"
Tipo de compressor				Rotativo
Gás Refrigerante			-	R22

Fonte: *Fujitsu*, disponível em: <www. br.fujitsu.com> Acesso em: 8/05/2012

5.2. MATERIAIS

Basicamente os materiais utilizados foram:

- Medidor de energia MARH-21;
- Bancada didática com módulos de automatização ;
- Software *Neocdata, Neocscreen e NeoUMPC;*
- Na sequência é apresentado detalhadamente cada material.

5.2.1 Medidor de Energia

Para a realização das medições de energia elétrica foi utilizado um analisador de energia MARH-21 (Figura 28), este medidor foi instalado junto ao quadro principal de distribuição de energia.

Figura 28– Analisador de Energia MARH-21.

A partir dos sinais de entrada de tensão e corrente, o analisador MARH-21 disponibiliza os valores das tensões de fase e linha, correntes, potências, energias, as demandas na ponta e fora da ponta por fase e totais e fator de deslocamento, etc.

Para a automatização dos condicionadores de ar, foram empregados módulos de automação residencial com intenção de dar prosseguimento à pesquisa e integrar demais sistemas futuros para fins de uso racional da energia elétrica. A escolha do equipamento de automação residencial chamada *Module* ocorreu em virtude do fabricante possuir um sistema já preparado para a integração de demais tecnologias, como a *dimmerização* ou controle de demais cargas, assim oferecendo maior flexibilidade e facilidade de configuração.

Conforme mencionado, a escolha da automação somente dos condicionadores de

ar se deu pelo fato de que os mesmos acarretam um maior consumo de energia elétrica dentro de uma edificação pública e um melhor controle do seu funcionamento pode gerar uma maior economia de energia elétrica. Além disso, a automatização dos condicionadores de ar requer menos interferência na instalação elétrica, pois o sistema é instalado próximo ao quadro terminal de alimentação dos condicionadores de ar.

5.2.2 Bancada com módulos de automação

Os módulos foram instalados próximos ao quadro terminal dos condicionadores de ar, em uma bancada usada para fins didáticos. A automatização é composta por quatro unidades modulares, isto é, *relay, switch, web e task.* Esses módulos têm características distintas e em conjunto são capazes de controlar as saídas (relés), nas quais estão ligadas as cargas. A Figura 29 fornece uma visão geral da bancada utilizada para avaliação experimental.

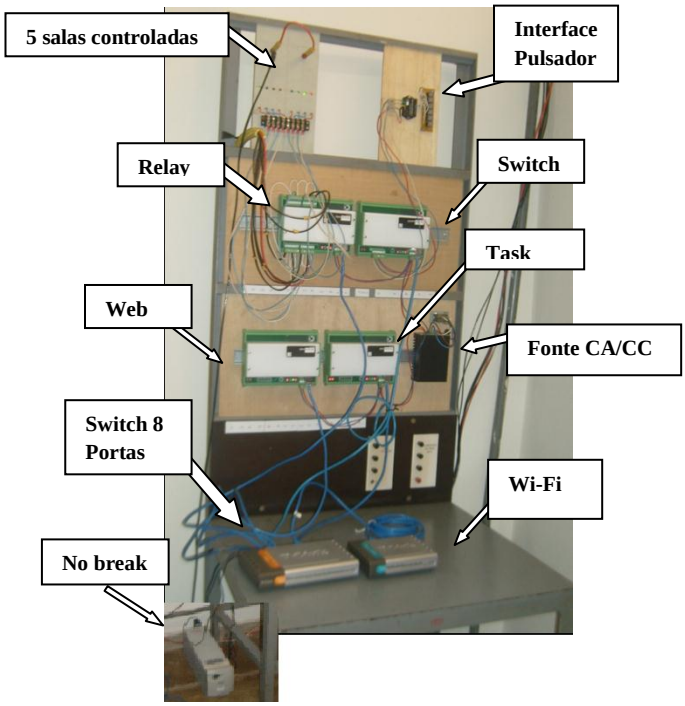


Figura 29– Módulos de Automação

Conforme destacada na Figura 29, nessa pesquisa foram utilizados somente os módulos *relay, switch, web e task*, sendo que todos eles possuem uma interface de rede (RJ-45 fêmea). Para integrá-los foram conectadas as interfaces de rede de cada módulo a um *switch*, com o auxilio de um cabo lógico UTP-CAT5[7]. A estrutura de rede

[7] UTP - Unshielded Twisted Pair ou Par Trançado sem Blindagem,

montada com os módulos e o esquema de ligação está mostrada na Figura 30. Os terminais do cabo UTP são ligados a conectores obedecendo a ligação direta, ou seja, não é possível interligar os módulos do sistema com cabos cruzados. Os módulos necessitam de uma fonte de 5V/300mA. Uma vez conectados à rede Ethernet deve-se conectar a parte de potência dos módulos (*Module Dimmer, Module Relay e Module AV)* às cargas que deverão ser automatizadas (NEOCONTROL, 2009).

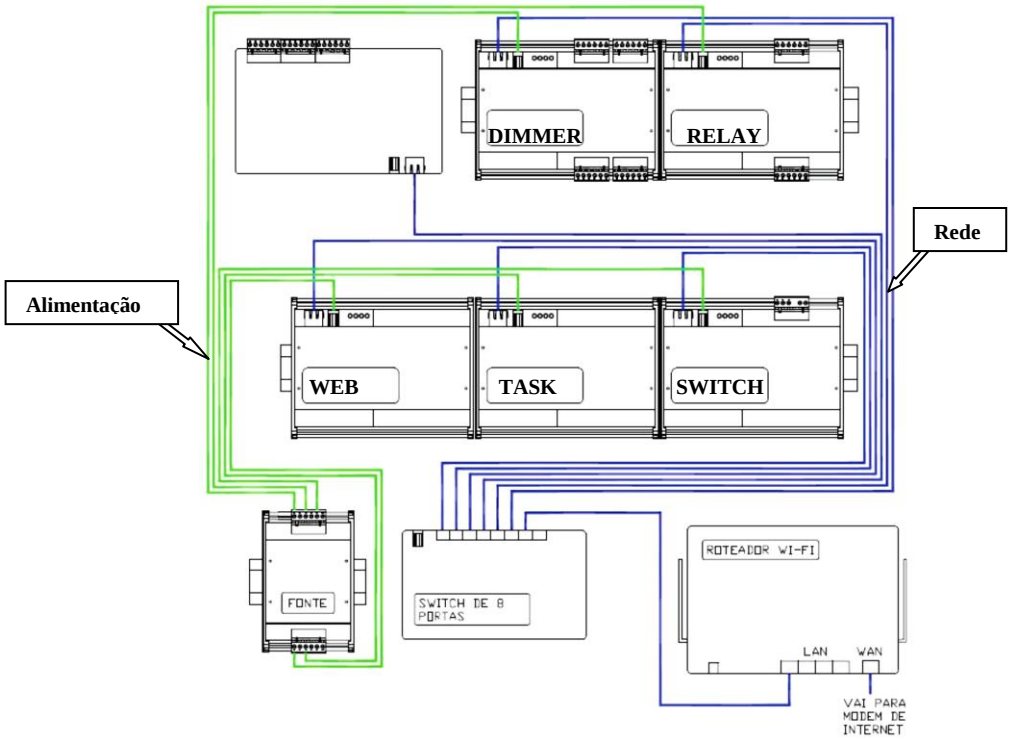


Figura 30– Esquema de ligação dos módulos.
Fonte: NEOCONTROL (2009).

Os condicionadores de ar são acionados individualmente por contatores de potência, cuja energização se dá pelo módulo de saída a relé (*module relay*).

Para visualização e controle foram instalados na bancada *led's* que indicam o acionamento e desligamento dos canais em funcionamento, conforme mostrado na Figura 31.

CAT5 – Categoria 5, usado em redes fast ethernet em frequências de até 100 MHz com uma taxa de 100 Mbps.

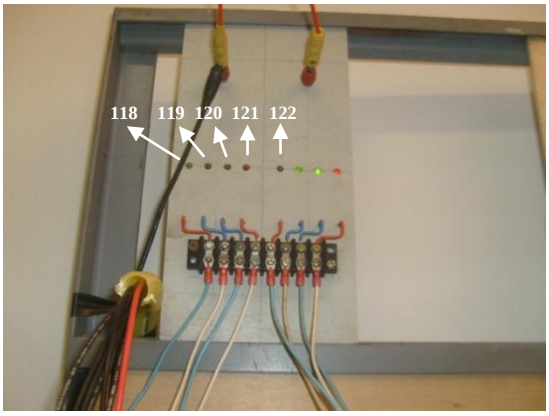


Figura 31– Led para identificação de funcionamento das salas

5.2.3 Programas computacionais para programação dos módulos.

Para configuração e criação de cenas, o fabricante oferece os seguintes softwares: o *Neocdata*, *Neocscreen* e *NeoUMPC*.

O *software Neocdata* possibilita a configuração e a integração dos módulos. Configurando-se individualmente os cenários para cada tipo de situação que poderão ser elaborados integrando cada um dos módulos no sistema *Module*. Através deste *software* é feito o agendamento de tarefas que serão executadas em um determinado horário e data, a configuração dos módulos e definição das informações enviadas pela internet, configurações de acionamento de interfaces biométricas e de sensores, mensagens enviadas pela internet entre outros.

No *software Neocscreen* é feito o design das telas e botões de acionamentos das cenas de acordo com cada ambiente ou sistema controlado visando facilitar e simplificar a operabilidade do sistema.

O *software UMPC* permite o acionamento das telas criadas pelo *Neocscreen* seja por computadores, celulares ou *iphones.* Dessa forma, é preciso instalá-lo em cada aparelho para quem pretende utilizar para efetuar os acionamentos programados. As etapas detalhadas para a programação dos módulos estão descritas no apêndice A.

5.3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada baseou-se em:

- Medição de energia elétrica;
- Cálculo da carga térmica através dos métodos prescritivos;
- Simulação computacional da carga térmica no *Software Energyplus*;
- Nível de Eficiência Energética da Edificação no requisito condicionador de ar;
- Estratégias para o comando dos condicionadores de ar.

5.3.1 Medições

Para a análise do consumo de energia elétrica foram instalados medidores e registradores de energia, um em cada quadro de distribuição que alimenta os quadros terminais dos condicionadores de ar. As medições foram realizadas no período de 20 de setembro a 19 de outubro de 2010, isto é, 30 dias de medições a fim de obter uma média diária mais condizente. As medições iniciais ocorreram no período de setembro a outubro durante o período letivo, que particularmente nesta Instituição o horário de atividade é das 07h30min às 22h00min.

A medição após a implantação da medida de eficientização com a automatização dos condicionadores de ar de acordo com o horário dos turnos das aulas ocorreram no período de 8 de agosto a 27 de setembro de 2011. E as medições referentes à automatização dos condicionadores de acordo com o cronograma de horário das aulas ocorreram no período de 14 de novembro a 13 de dezembro de 2011.

As grandezas elétricas armazenadas no registrador de energia foram: potências ativas nas fases A, B e C, corrente, tensão e fator de potência. Os acessórios utilizados para as medições foram: alicates para corrente e pinças de tensão.

A programação do registrador e o acesso aos dados são gravados no próprio equipamento (MARH-21), sendo realizada com o próprio *software Anawin,* disponibilizado pelo próprio fabricante do equipamento.

5.3.2 Cálculo da Carga Térmica.

O cálculo da carga térmica deve-se ao objetivo de avaliar os condicionadores de ar pelo Regulamento Técnico da Qualidade; o regulamento exige que os aparelhos

condicionadores de ar estejam ajustados a carga térmica do ambiente. Para isso, o procedimento consistiu no levantamento das características dos ambientes como dimensões das salas, número de pessoas, número de aberturas, áreas das frestas, isto é, variáveis que influenciam na carga térmica.

Os valores de condutividade térmica considerada para todos os materiais foram baseados na NBR 15220-2/2008 e os procedimentos de cálculo encontram-se no apêndice B.

5.3.4 Simulação Computacional no *Software Energyplus*.

A simulação do Bloco de Engenharia Elétrica da UFMT no *Energyplus* passa por diversas etapas como inserção da geometria, arquivo climático, etc., sendo que no final é gerado um arquivo com a extensão idf, que contém todos dos dados necessários para o programa calcular a carga térmica interna de cada ambiente.

Para os dados climáticos locais, foi utilizado o arquivo climático *"epw"* da cidade de Cuiabá, obtido do Departamento de Energia dos Estados Unidos disponível em "http://www.eere.energy.gov". As salas consideradas para a simulação da carga térmica foram às salas que receberam a automatização dos condicionadores de ar, isto é, as salas 118, 119, 120, 121 e 122 respectivamente.

A simulação inicia-se com a inserção da geometria do prédio e sua orientação, a partir das dimensões das salas e características construtivas da edificação. Para facilitar a inserção da geometria, foi usado um *plug-in* para o *Sketchup,* programa de modelagem 3D, onde o edifício é desenhado e as coordenadas dos vértices que formam as superfícies do prédio são automaticamente inseridas no arquivo "*idf*".

Em seguida é atribuída a cada superfície uma classificação (paredes, pisos, forros, etc.). Para o posicionamento correto da edificação em relação ao norte verdadeiro, foi necessário considerar um ângulo de 52° no sentido Norte-Leste. Cada elemento construtivo possui condições de contorno que podem ser outra zona, um ambiente externo exposto ao sol, ao vento, em contato com o solo, etc. ou mesmo uma superfície adiabática no caso de ambientes adjacentes condicionadas.

Na etapa de inserção das paredes externas, internas e cobertura, é possível especificar as zonas térmicas que compõe a edificação e serão avaliadas na simulação.

Além das superfícies que delimitam cada zona térmica, insere-se também, elementos de sombreamento, janelas e portas.

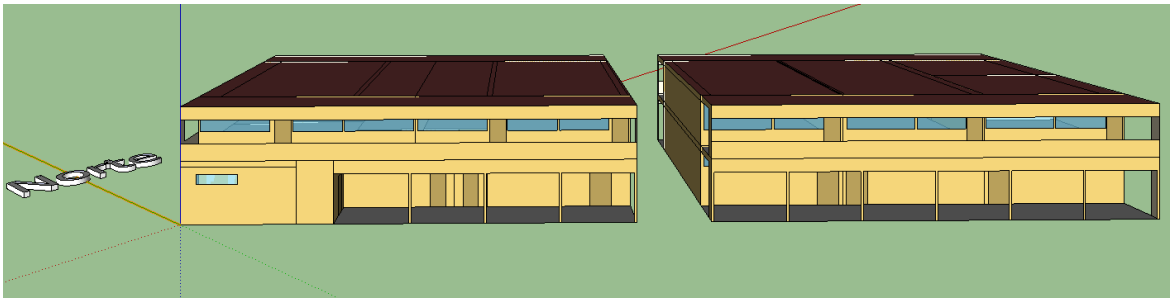
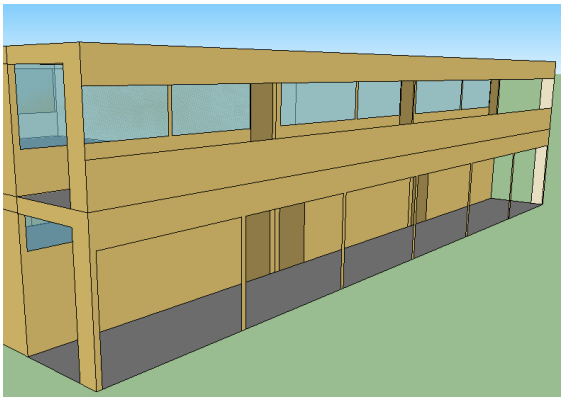


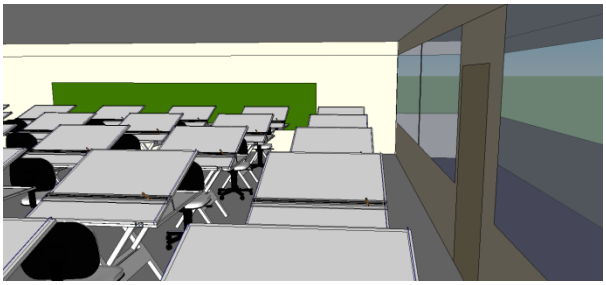
Figura 32– Representação do modelo do Bloco de Engenharia Elétrica da UFMT.

Na modelagem buscou-se reproduzir a edificação de maneira mais fiel possível em relação às características construtivas do edifício real. Na Figura 33a é ilustrada a parte externa e na Figura 33c a parte interna do modelo computacional em comparação a edificação real com a intenção de destacar as semelhanças entre o modelo criado em *software* e a edificação em estudo.



(a) Vista Lateral

(b) Fotografia da Lateral do Edifício



(c) Cenário interno de uma das salas

(d) Fotografia de uma das salas

Figura 33– Comparação entre o modelo computacional e a edificação real.

Após a análise das plantas da edificação em estudo e observações no local, foram inseridos os materiais usados na construção.

Na elaboração do modelo computacional faz-se necessário a definição da composição e parametrização dos materiais que compõem as superfícies (paredes, pisos e tetos).

Na construção do módulo os nomes dos componentes construtivos são inseridos no momento da modelagem no *Skechup* através da opção que o *QpenStudio* oferece, posteriormente, ao abrir o *idf* do *Energyplus* são inseridos no campo materiais a característica térmica de cada material, ou seja, sua condutividade, calor específico, densidade e espessura do material todos de acordo com a NBR 15220 (2008), sendo que o próprio software realiza os cálculos. Dados relevantes dos materiais que compõem as paredes, lajes, piso e forro apresentam-se na Tabela 13.

Tabela 13: Dados dos materiais de construção.

	Espessura (m)	Condutividade (W/(m.K))	Densidade (kg/m³)	Calor Específico (J/kg.K)
Tijolo Cerâmico	0,11	0,90	1300	920
Reboco	0,02	1,15	1800	1000
Argamassa comum	0,11	1,15	1800	1000
Fibrocimento (telha)	0,008	0,95	1800	840
Compensado	0,05	0,15	450	2300
Viga Concreto	0,15	1,75	2200	1000
Laje Concreto	0,20	1,75	2200	1000

Fonte: Adaptado da NBR 15220 (2008).

No *Energyplus* as cargas internas são basicamente as mesmas utilizadas nos métodos prescritivos, divididas nas seguintes categorias dentro do *Energyplus:*

Pessoas: Trata-se do número de alunos que ocupam as salas de aulas. No *Energyplus,* além da quantidade de pessoas em cada ambiente, devem-se inserir os *schedules*, ou agendas, de ocupação de cada zona e do nível de atividade de seus ocupantes.

Iluminação: Os ganhos internos de calor provenientes da iluminação foram inseridos com o sistema de iluminação existente na edificação. A potência total de iluminação em cada ambiente é dividida em fração radiante (ondas longas) e visível (ondas curtas) das lâmpadas. A fração convectiva restante é calculada pelo programa com base nestes valores. Para lâmpadas fluorescentes a fração radiante é de 0,42 se forem luminárias suspensas e 0,37 para luminárias embutidas no forro. Na simulação utilizou-se o valor 0,42, e a fração visível sempre igual a 0,18 (*Energyplus* Manual, 2010).

A temperatura do solo, presente em *Site:GoundTemperature:BuildingSurface,* modelo presente no *Energyplus*, utilizada na simulação, foi adaptada de Sorgato, 2011. A temperatura do solo influencia significativamente na carga térmica das salas.

As taxas de iluminação seguem *schedules* que definem sua intensidade de acordo com o horário de uso de cada ambiente, coincidentes com os horários de ocupação pelas pessoas. Para a simulação os horários considerados foram: das 07h30min às 11h30min, das 13h30min às 17h30min e das 18h00min às 22h00min.

As taxas de infiltração foram inseridas no *Energyplus* em *ZoneInfiltration:DesignFlowRate,* onde adiciona-se a zona e em seguida, no *schedule* de infiltração, considerou-se a existência de infiltração durante as 24 horas. Na simulação foi considerado o fluxo por zona *"Flow/Zone"* e a taxa de fluxo do projeto em m^3/s.

O *Energyplus* possui modelos que descrevem o funcionamento de diversos sistemas de diferentes condicionadores de ar. Foram empregados dois modelos de sistemas de condicionadores de ar para a simulação. O primeiro tipo de condicionador de ar corresponde ao *HVACTemplate: Zone:IdealLoadsAirSystem* que representa um sistema virtual, um sistema 100% eficiente, ideal e sem perdas, capaz de fornecer a carga térmica necessária para atingir a temperatura de controle a cada hora. Podendo adicionar carga térmica (aquecimento) ou retirar a carga (resfriamento) em busca da temperatura de controle (*setpoint*). A temperatura do termostato para refrigeração foi ajustada em 25°C, as mesmas utilizadas nos cálculos.

Para a vazão de ar de renovação, no sistema do ar ideal foi empregado o modelo *ZoneVentilation:designFlowRate,* adicionado a zona na qual se deseja simular,

por meio do *shedule* dos horários de funcionamento do condicionador de ar. O método escolhido para representar a renovação do ar é em função do fluxo por pessoa-m³/segundo/pessoa, conforme a NBR 16401 (2008). Os aparelhos condicionadores de ar *split* não realizam esta renovação, porém esta variável foi empregada na simulação, tal qual nos métodos prescritivos de Creder (2004b) e da NBR 16401(2008).

O segundo modelo tipo de condicionador de ar empregado é do ar *split* que faz uso dos seguintes modelos *(templates)* do *Energyplus:*

- *HVACTemplate:System:Unitary*, condicionador de ar unitário que trata-se de um sistema já definido pelo programa. Criou-se uma *shedule* com os horários de funcionamento dos aparelhos, que foram ajustados conforme a ocupação das salas.
- *HVACTemplate:Zone:Unitary,* define-se a zona em que está o *HVAC,* o sistema unitário criado anteriormente, o termostato, e a taxa de fluxo de ar por pessoa. No sistema do ar *split*, o *Energyplus* já considera esta renovação.

Para obter os resultados anuais sobre o consumo de energia dos modelos e carga térmica, as simulações foram realizadas para um dia típico de projeto e para o período de um ano típico com base no arquivo climático da cidade de Cuiabá. Estas definições devem ser estabelecidas em *Simulation Parameters,* em *Output:Variable,* define-se o tipo de relatório que se deseja gerar como saída, isto é, resultado da carga térmica total, taxa de resfriamento sensível, temperatura das zonas, dentre outras.

5.3.5 Nível de Eficiência Energética da Edificação no requisito condicionador de ar.

Com objetivo de eficientizar o sistema de condicionamento ambiental através da troca de aparelhos mais eficientes, a metodologia do levantamento dos condicionadores de ar foi baseada no Regulamento Técnico da Qualidade em edifícios comerciais e públicos RTQ-C.

O levantamento, ou melhor, a coleta de dados dos condicionadores permitiu identificar duas situações: aparelhos que já tinham o selo de eficiência e aparelhos sem selo. Para identificar o nível de eficiência dos aparelhos sem o selo, procedeu-se do seguinte modo: identificação da marca e o nível classificação da eficiência de cada

aparelho foi extraído das tabelas do Programa Brasileiro de Etiquetagem PBE/INMETRO (INMETRO, 2008).

A classificação geral do nível de eficiência energética dos condicionadores de ar do bloco D realizou-se através das etapas:

- Determinação da eficiência dos condicionadores de ar de cada ambiente. Neste caso inclui-se a possibilidade de se ter condicionadores de ar com potências e níveis de eficiência diferentes no mesmo ambiente, sendo que a determinação da eficiência é feita através da ponderação por potência;
- Determinação da eficiência dos condicionadores de ar de cada um dos pavimentos; para o qual se faz o uso da ponderação por recinto (área) e nível de eficiência;
- Determinação da eficiência dos condicionadores para toda a edificação, cujo procedimento é análogo ao anterior.

O somatório dos resultados ponderados definiu o equivalente numérico que através de tabela de classificação final, de acordo com a Tabela 14, chegou-se ao nível de eficiência energética da edificação, no requisito condicionador de ar.

Tabela 14: Classificação Final com relação ao número de pontos (PT)

PT	Classificação Final
4,5 a 5	A
3,5 a 4,4	B
2,5 a 3,4	C
1,5 a 2,4	D
1 a 1,4	E

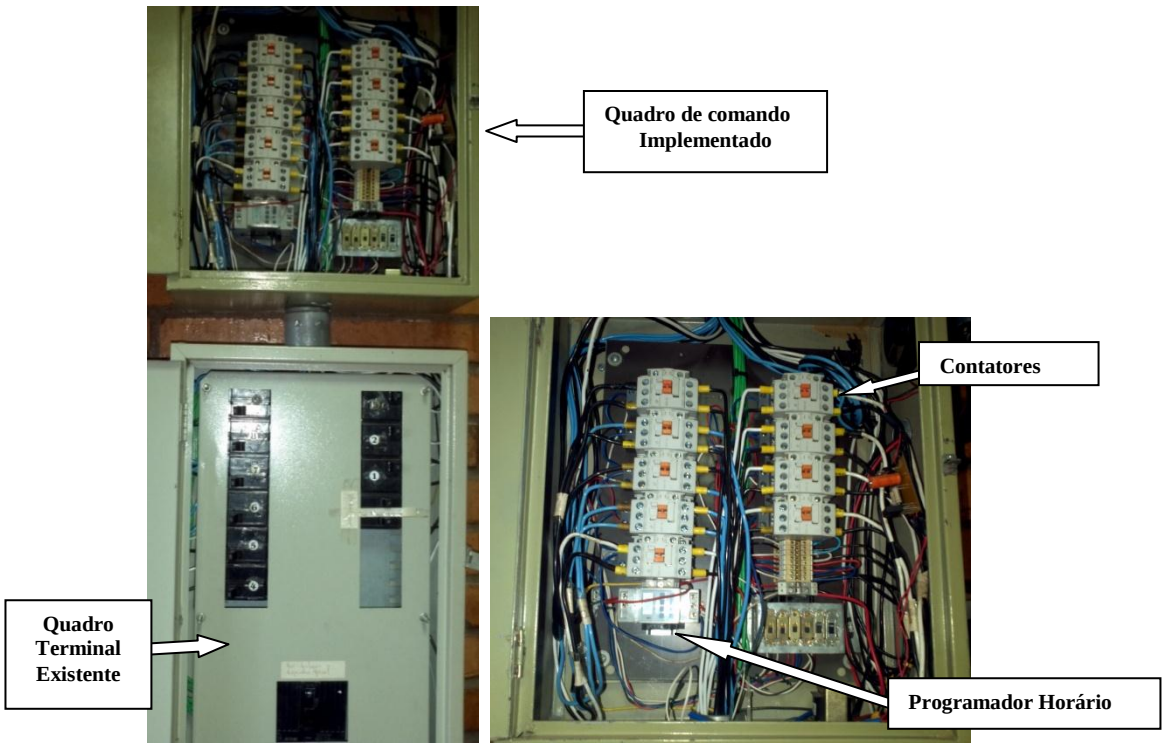
Fonte: Manual para Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C

5.3.6 Estratégias para o comando dos condicionadores de ar.

Para análise das diferentes estratégias de controle dos condicionadores de ar, foi instalado um sistema de automatização que permite o acionamento e desligamento dos circuitos terminais dos condicionadores de ar de acordo com o horário normal das aulas, isto é: das 07h30min às 11h30min, das 13h30min às 17h30min, das 18h00min

às 22h00min. Essa primeira estratégia faz uso somente de chaves magnéticas (contatores) e programadores horários cujos dispositivos podem ser vistos na Figura 36. Nessa primeira etapa de implementação da automatização, o principal objetivo é de evitar o uso dos aparelhos em horários não previstos para atividades dentro do campus, tais como: horário de almoço, intervalo entre aulas e após às 22h00min.

O quadro contendo as chaves magnéticas e o programador horário foi instalado próximo ao quadro terminal dos condicionadores de ar conforme a Figura 34.



a) b)

Figura 34– a) Quadro terminal, b) Detalhe do quadro de comando dos condicionadores de ar.

Posteriormente, foi instalado um sistema de automação (Figura 35), em que o acionamento ocorre de acordo com o cronograma de horário de ocupação das salas.

Os módulos de automação utilizados permitem o agendamento dos horários de ocupação ou reserva de cada sala de aula liberando ou não o funcionamento de cada aparelho, de modo que se possa comparar o consumo de energia frente às diferentes alternativas.

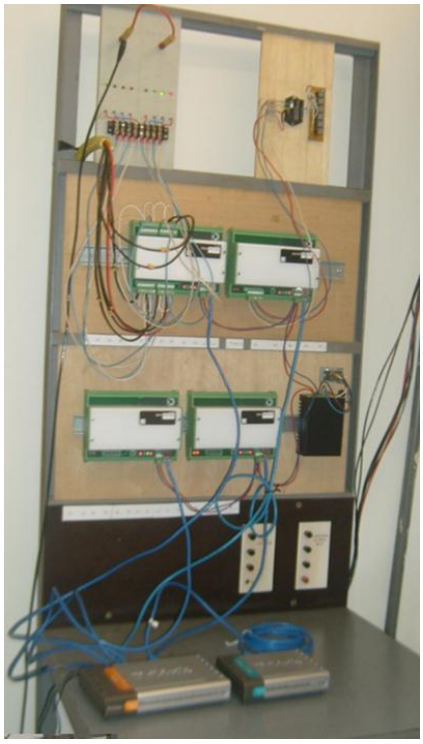


Figura 35 – Detalhe dos módulos da automação, composto de: *task, switch, relay* e *web*.

A Figura 36 apresenta esquematicamente um diagrama funcional da automatização dos condicionadores de ar.

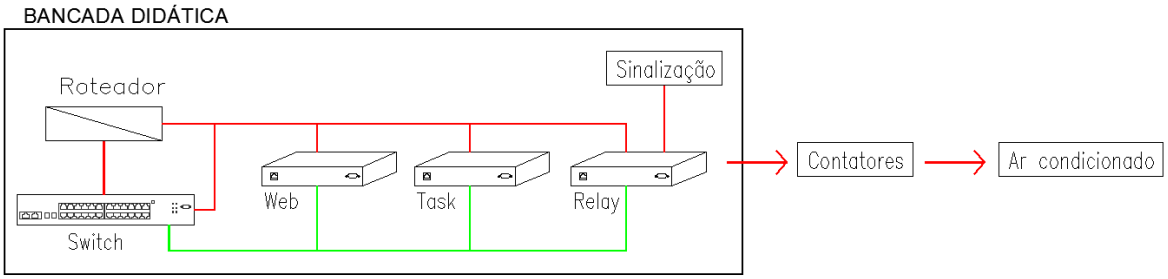


Figura 36 – Diagrama funcional da automatização dos condicionadores de ar.

Serão empregados módulos de automação com funções pré-definidas cujo principal objetivo é de facilitar a execução das tarefas e a reprogramação semestral de ocupação das salas para que se possa controlar o uso da energia elétrica.

5.3.7 Viabilidade econômica das medidas de eficientização empregadas

Todo projeto de racionalização do consumo energético deve ser analisado de acordo com sua viabilidade financeira. Para isso, o método utilizado para o cálculo da viabilidade econômica foi o tempo de retorno de capital, ou *payback* simples. Esta análise é feita apenas dividindo-se o custo da implantação do empreendimento pelo benefício auferido. Esse critério mostra quanto tempo é necessário para que os benefícios se igualem ao investimento.

De acordo com Lapponi (2000) o método do *Payback* é a avaliação do tempo necessário para se recuperar o capital investido, sendo que este método se divide em:

- Método do *Payback* Simples
- Método do *Payback* Descontado

Na presente pesquisa, foi adotado o método *Payback* Simples (PBS) de acordo com Bruni et al. (1998) o PBS corresponde ao prazo necessário para a recuperação do capital investido, sem considerar o seu custo no tempo.

Kerzner (1998) define o PBS como o tempo de duração exata para que uma empresa recupere o seu capital investido, não considerando o custo deste capital em relação ao tempo. Da mesma forma, Lapponi (2000) define esta técnica como tempo necessário para recuperar o investimento PBS com o tempo máximo tolerado para a recuperação deste investimento. O autor considera que para calcular o valor do PBS admiti-se que o retorno líquido de cada ano do fluxo de caixa se comporta de modo uniforme durante o ano.

Lapponi (2000) acrescenta ainda dentre as vantagens, o fato deste método apresentar fácil interpretação e servir de parâmetro de medida do risco do projeto, ou seja, quanto maior o valor do PBS, maior será o risco do investimento e quanto menor o valor PBS, menor será o risco de investimento.

Por outro lado, Bruni et al. (1998) apresenta como desvantagens do PBS o fato de não ser considerado o custo de capital, ou seja, o valor do dinheiro no tempo, além de não considerar todos os fluxos de caixa.

Neste caso, o custo de implantação está associado à aquisição dos equipamentos que venham a controlar o uso da energia elétrica, no caso a automatização dos condicionadores de ar.

O benefício auferido refere-se à economia adquirida após a implantação das alternativas de eficientização nos condicionadores de ar, nos dois sistemas propostos. Assim, foram analisadas a viabilidade econômica de dois sistemas de automação empregados, sendo eles:

- Estratégia 1 - Medida de automatização de acordo com o período de uso das salas de aulas;
- Estratégia 2 - Medida de automatização de acordo com o cronograma de horário de ocupação das salas.

As duas estratégias foram analisadas e comparadas com as medições iniciais de maneira a identificar quanto tempo de retorno de investimento pode ser alcançado para cada um dos sistemas propostos.

Assim, cabe ressaltar que de acordo com a literatura pesquisada, este método de avaliação é fácil de ser aplicado, não apresentando divergências em sua metodologia. Todavia, trata-se de um método para análise inicial de um projeto de investimento, devendo ser complementado com outras técnicas mais elaboradas como, por exemplo, o método do Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno (MORANO, 2003).

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados são apresentados para cada etapa proposta nesta pesquisa, sobre os quais se fundamenta o objetivo geral. Para tanto, procede-se as análises energéticas, análises dos métodos prescritivos da carga térmica, análise da simulação computacional da carga térmica no *Energyplus* e, por fim, as análises das estratégias de eficientização nos condicionadores de ar.

6.1. ANÁLISE ENERGÉTICA DAS SALAS DE AULA SEM AUTOMATIZAÇÃO

As medições de energia elétrica foram realizadas no período de três meses, de agosto a outubro, porém, foi analisado somente o período de 20 de setembro de 2010 a 20 de outubro de 2010, pois nos períodos anteriores, a instituição sofreu interrupção no fornecimento da energia durante dois dias consecutivos, o que levou a desprezar o grupo de medições anteriores aos dias de interrupção.

As salas de aulas em que foram realizadas as medições possuem 9 condicionadores de ar do tipo *split* de 31200 BTU/h e 3100 W. Caso todos os condicionadores funcionassem simultaneamente, teria uma demanda máxima de 27900 W. Entretanto, a demanda máxima medida dentro do horário de utilização das salas alcançou 19,12 kW referentes a nove condicionadores de ar localizados nas salas a serem automatizadas.

A Tabela 15 resume o resultado das medições para o período referido, na qual se percebe consumos de energia elétrica fora do horário de funcionamento das salas.

Tabela 15 - Consumo de energia elétrica no período de um mês de medição.

Período	Horário normal(kWh)	Fora do horário de aula (kWh)
7:31 às 11:30	906,04	
11:31 às 13:30		527,14
13:31 às 17:30	1.153,42	
17:31 às 18:00		131,64
18:01 às 22:00	853,07	
22:01 às 7:30		768,75
Total parcial	**2.912,53**	**1.427,53**
Total geral	**4.340,06**	

O consumo fora do horário previsto para a ocupação das salas corresponde a 33% do consumo total medido, isto é, são 1.427,53 kWh. O período que corresponde das 11h31min às 13h30min trata-se do horário de almoço. O período de 17h31min as 18h00min compreende o intervalo entre o turno vespertino e o noturno, e o período das 22h01min às 7h30min referem-se ao período em que não deveria haver consumos. Caso se empregue um sistema que venha acionar o acionamento/desligamento destes aparelhos conforme os horários das aulas, isto é das 07h30min às 11h30min, 13h30min às 17h30min e 18h00min às 22h00min, este valor seria em princípio de economia de energia. Evidentemente, esse valor varia em função das estações e condições climáticas, período de recesso das atividades, porém em pelo menos nove meses do ano há que proporcionar uma economia apreciável.

A Figura 37 mostra o resultado do consumo diário ao longo do período de medição.

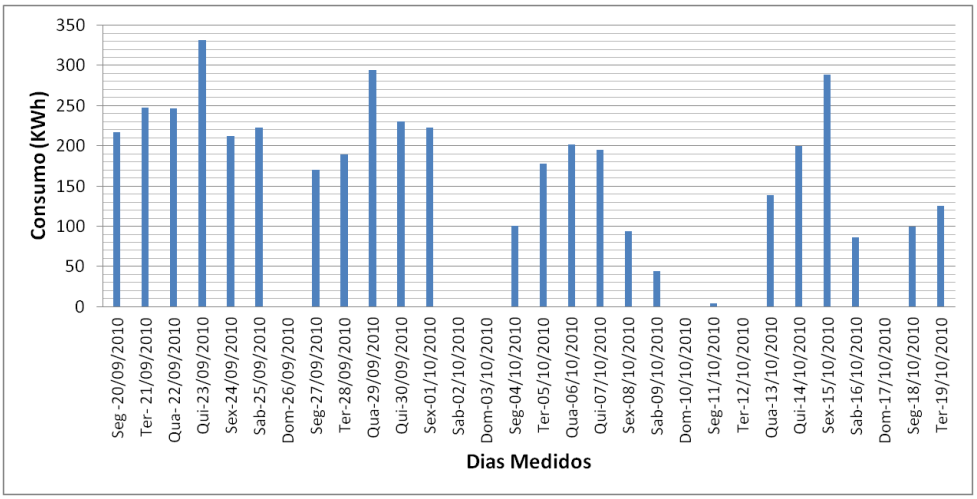


Figura 37– Consumo de energia elétrica do período de medição.

Ao analisar os resultados apresentados no gráfico da Figura 37 nota-se que o consumo é bastante variável, mesmo para os mesmos dias da semana. As salas 118 e 119 são destinadas as aulas de desenho técnico e projetos para as quais se utilizam "pranchetas", que juntas somam, aproximadamente, 45% da carga de condicionador de ar do grupo de salas. Os horários reservados para as aulas perfazem 38,33% do horário fixo semanal, sendo que nos horários livres a sua ocupação é aleatória e fica em função das atividades extras dos alunos que necessitam do uso das pranchetas. Desse modo, o consumo diário do grupo de salas fica bastante influenciado pelo uso aleatório das salas 118 e 119.

Percebe-se um baixo consumo no dia 11/10/2010 e 12/10/2010 que ocorreu em decorrência da véspera do feriado nacional, portanto no cálculo da média esses dias foram desprezados.

A Figura 38 mostra os resultados das medições de energia elétrica, tomando por base os dias da semana, evidenciando a variabilidade do consumo.

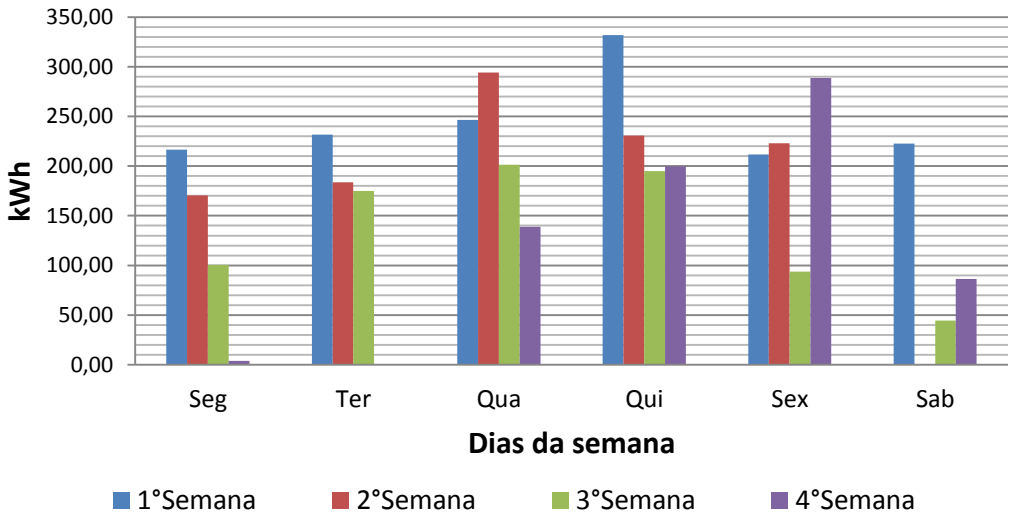


Figura 38–Consumo semanal de energia elétrica do período de medição.

As variações nestes consumos poderiam ocorrer, também, devido às variações climáticas, porém segundo dados do Inmet (2010) no período sob análise foi registrado uma temperatura média de 37ºC nas quintas feiras, ou seja, não ocorrendo uma variação significante.

Dessa forma, o que influencia bastante no consumo é a inexistência de qualquer controle do uso dos condicionadores, com o funcionamento de aparelhos em salas que não estão sendo utilizadas para as aulas.

A Tabela 16 mostra os consumos médios semanais de acordo com o período do dia.

Tabela 16 - Consumo médio de energia elétrica semanal durante o período de medição.

Período	Consumo Médio (KWh)			
	1º Semana	2º Semana	3º Semana	4º Semana
7:31 às 11:30	52,77	36,71	27,55	25,95
11:31 às 13:30	28,58	23,12	16,86	14,83
13:31 às 17:30	56,98	44,47	40,80	34,93
17:31 às 18:00	6,59	5,36	5,19	3,39
18:01 às 22:00	45,19	38,82	30,64	19,98
22:01 às 7:30	53,43	35,15	14,02	20,47
Total	**243,54**	**183,63**	**135,04**	**119,54**

Na Tabela 16 é possível identificar os consumos totais de acordo com os dias da semana, essa variação nos dias da semana ocorre em decorrência dos horários de funcionamento das salas não serem iguais para todos os dias da semana, por isso houve dias de maiores consumos que outros.

A Tabela 17 resume-se os consumos médios de segunda a sábado, nos horários programados para uso das salas e fora desses horários (intervalos).

Tabela 17- Consumo de energia elétrica para os dias da semana - Uso no horário normal e nos intervalos.

Período	Consumo Médio (KWh)					
	Seg	Terç	Qua	Qui	Sex	Sab
Horário programado para uso das salas	90,35	128,79	152,98	156,48	127,62	21,84
Fora do horário (intervalos)	27,95	56,19	67,18	82,84	76,62	66,60
% Consumo fora do horário	24%	30,38%	30,51%	34,62%	37,52%	75,31%
Total	**118,30**	**184,98**	**220,16**	**239,33**	**204,25**	**88,43**

Analisando estes consumos, verificou-se que durante os dias da semana o maior consumo de energia durante o período de aula foi nas quintas-feiras e o dia em que mais se consumiu energia fora do horário de aula foi nas sextas-feiras.

As aulas aos sábados ocorrem somente no período das 07h30min às 11h30min, de acordo com a Tabela 17 houve consumo fora deste período.

Na Figura 39 mostra-se as demandas máximas e mínimas durante o período de medição, extraídas das medições diárias, isto é, das 0h00min as 24h do mesmo dia.

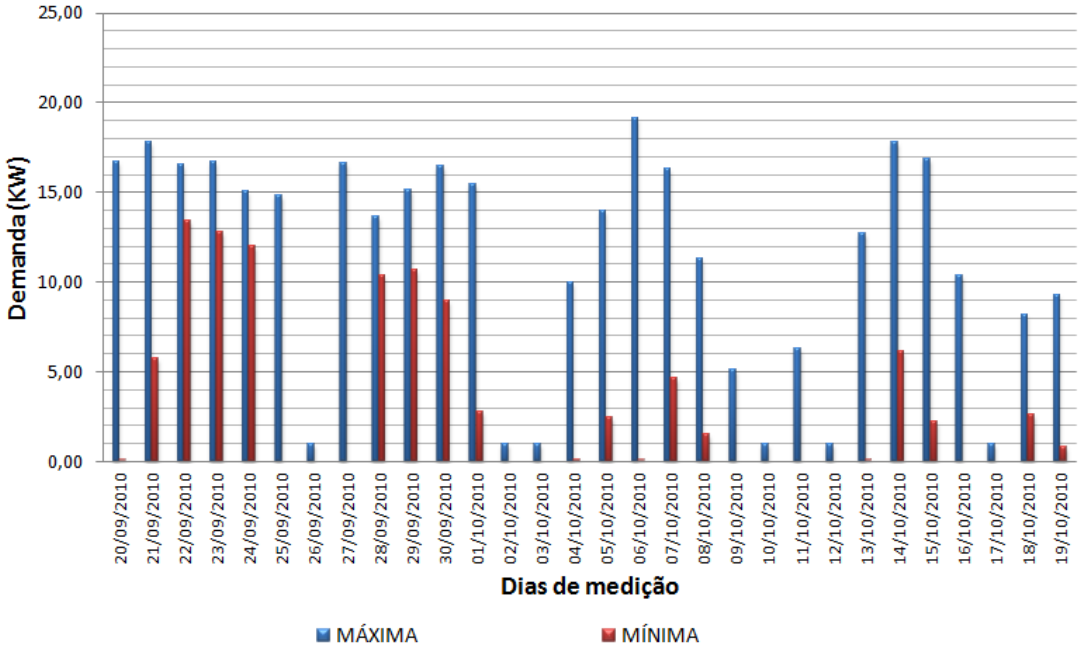


Figura 39– Demanda máxima e mínima durante o período de medição.

De acordo com a Figura 39 a demanda máxima chegou 19 kW e a mínima de 0 kW. Era de se esperar que a demanda mínima fosse sempre 0 kW. Entretanto, em diversos dias a demanda mínima foi superior a 0 kW, mostrando que alguns condicionadores de ar permaneceram ligados durante as 24 horas.

Na Figura 40 é possível observar esse comportamento. Para efeito de visualização e análise foi selecionado o período das 18h00min do dia 22/09/2010 até as 24h do dia 23/09/2012.

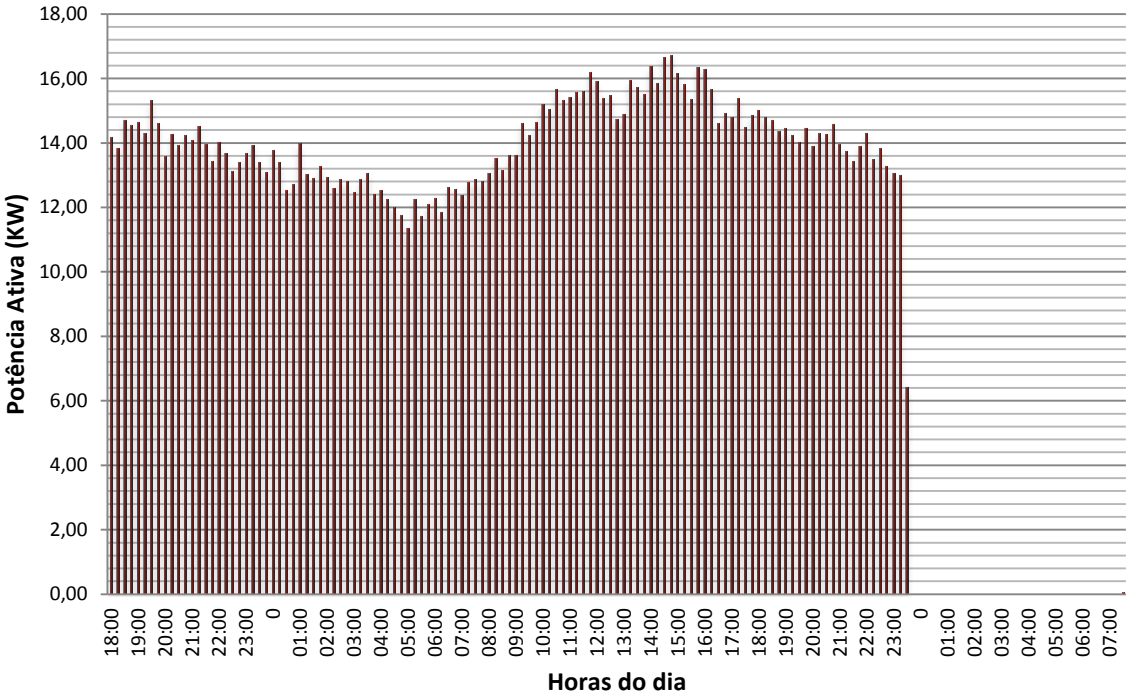


Figura 40 – Medição de potência ativa (KW) a partir das 18h00min do dia 22 de setembro até as 07h30min do dia 24 de setembro de 2010.

De acordo com a Figura 40 observam-se demandas superiores a 10 kW, com os condicionadores de ar permanecendo funcionando durante toda a madrugada. Esse fato permitiu identificar a necessidade de controles de acionamentos, para evitar assim gastos desnecessários. Ao analisar a Figura 40, se considerarmos uma carga média de 14,0 kW ligada durante duas horas, das 11h30min às 13h30min, são 28 kWh consumidos fora do horário de utilização das salas, que podem ser minimizados através do controle do horário de funcionamento das salas.

Analisando de uma forma geral, os resultados de consumo e demanda encontrada através das medições pode-se perceber que a proposta de automação através do acionamento de acordo com os turnos das aulas pode oferecer, com base no período medido, uma economia de 33%. Consequentemente, com um controle através do cronograma de horário das aulas seria possível adquirir economias ainda mais significativas, pois as salas nem sempre são reservadas para uso com aulas, assim o consumo será menor.

6.2. ANÁLISE DOS MÉTODOS PRESCRITIVOS DE CARGA TÉRMICA

Nesta seção são apresentados os resultados da carga térmica das salas de aulas de acordo com cada método empregado. As tabelas de cálculo dos métodos encontram-se no Anexo C.

A Tabela 18 permite comparar a potência instalada em cada uma das salas com os resultados do cálculo da carga térmica de acordo com os métodos prescritivos descritos por Negrisoli (1987), Creder (2004a), Creder (2004b) e pela NBR 16401 (2008), cujas variáveis e equacionamentos foram apresentados em 4.3.

Analisando a Tabela 18 é possível observar que 31,59% dos valores calculados da carga térmica são iguais ou próximos da potência instalada; 42,10% dos valores são maiores e 26,31% são menores.

Em relação aos métodos de cálculo, cabe destacar:

- O método de Negrisoli (1987) não leva em consideração explicitamente fatores que venham a influenciar na carga térmica, como por exemplo, a condutância térmica dos materiais, o posicionamento da edificação, etc. O procedimento de cálculo neste método é apresentado de maneira simplificada, podendo ser empregado para se ter uma estimativa preliminar. Apesar desse método ser menos rigoroso no cálculo, mesmo assim considera carga térmica proveniente das pessoas, iluminação e janelas envidraçadas em seu procedimento de cálculo, parâmetros mínimos imprescindíveis em cálculos de carga térmica. A sequência e o equacionamento para o cálculo da carga térmica por esse método estão descritos no apêndice C.

Tabela 18– Comparação entre potência instalada e o resultado dos métodos prescritivos de carga térmica.

Sala	BTU/h				
	Potência Instalada	Negrisoli (1987)	Creder (2004a)	Creder (2004b)	NBR 16401 (2008)
101 B	18.000	7.347,93	6.387,47	15.300,33	18.778,24
101 C	21.000	35.854,20	20.217,72	74.985,66	64.095,60
101 D	21.000	16.749,99	19.014,29	19.393,66	22.094,34
101 E	7.500	3.957,75	4.110,20	8.788,60	7.737,64
101 F	7.500	3.957,75	4.110,20	8.457,43	7.436,35
102 A	30.000	13.596,70	10.243,09	17.876,09	25.063,44
102 B	72.000	33.613,03	25.813,70	54.201,40	50.568,98
102 C	30.000	3.957,75	4.176,85	8.457,43	7.436,35
103 A	66.000	42.969,55	38.417,38	65.345,69	62.632,11
103 B	18.000	6.884,60	7.651,08	13.081,17	12.586,03
104	36.000	21.708,15	19.560,46	35.165,29	36.382,13
105	36.000	21.708,15	19.560,46	36.148,04	35.595,06
106	36.000	21.708,15	19.560,46	38.847,23	36.006,36
107	36.000	22.210,23	19.560,46	37.306,08	36.859,82
108	90.000	43.752,96	39.671,73	65.516,26	63.695,99
109	21.000	22.208,24	19.560,46	37.269,98	34.134,92
110	30.000	22.208,24	19.560,46	36.482,55	33.347,84
111	30.000	21.708,15	19.560,46	36.935,48	33.657,22
112	36.000	16.998,93	19.560,46	21.583,14	22.285,08
113	21.000	8.623,50	9.780,23	12.214,77	12.415,98
114 A	10.000	8.623,50	9.780,23	12.498,79	13.777,64
114 B	10.000	9.119,62	9.780,23	14.006,37	14.917,28
114 C	21.000	8.623,50	9.780,23	12.498,79	12.714,49
114 D	10.000	14.981,41	19.833,55	15.338,01	18.954,78
115	84.000	43.754,94	39.671,73	77.088,48	76.482,70
116	78.000	43.754,94	39.671,73	77.088,48	71.431,19
117	96.000	43.747,00	39.671,73	76.944,09	76.482,70
118	124.800	62.184,45	60.111,63	116.693,17	145.375,59
119	124.800	62.202,31	60.111,63	119.570,14	147.536,41
120	124.800	56.779,98	39.671,73	132.292,23	139.082,24
121	124.800	56.779,98	39.671,73	130.923,42	136.566,65
122	31.200	28.241,91	19.560,46	70.710,54	82.216,16
123	36.000	28.241,91	19.560,46	70.710,54	82.216,16
124	72.000	41.896,23	39.671,73	80.147,37	102.435,61
125	30.000	25.761,28	19.560,46	62.871,06	76.517,95
126	36.000	25.761,28	19.560,46	60.087,12	54.011,64
127	36.000	28.241,91	19.560,46	65.346,47	59.709,85
128	31.200	25.761,28	19.560,46	57.934,12	54.011,64
Total >>>		**1.006.181,37**	**870.868,31**	**1.896.105,45**	**1.987.250,15**

- No método de Creder (2004a), o procedimento de cálculo inicia-se com o levantamento da área do ambiente a ser climatizado e multiplica-se por constantes extraídas de tabelas cujos valores dependem da atividade a ser realizada no recinto. A escolha de uma das categorias (baixo, médio ou alto) serve para adequar fatores relativos ao número de pessoas, características construtivas da edificação, posicionamento, etc. Este método é útil somente para uma estimativa da carga térmica. Nos cálculos com esse método utilizou-se o padrão médio da tabela, pois na referência não se dispõe de informações complementares e criteriosas para definir a carga térmica por metro quadrado.
- O método de Creder (2004b) calcula a carga térmica total dividindo-a em parcelas que são introduzidas no recinto por meio de condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação, podendo ser considerado o mais aceitável para estimativas de cálculo, mesmo fazendo uso de tabelas antigas, quando comparado ao método da NBR 16401 (2008), pois estas parcelas interferem significativamente na carga total do recinto. Este método conduz em geral a uma carga térmica maior em relação aos métodos anteriores descritos, pois leva em conta um número maior de variáveis, em particular o item sobre ventilação, que é o ar a ser renovado, exigido por norma, elevando significativamente a carga térmica total dos ambientes. A sequência de cálculo e equacionamento estão descritos em apêndice C.
- No método constante na NBR 16401 (2008) leva-se em consideração as cargas térmicas como a renovação do ar no ambiente, carga por condução e insolação das paredes do envelope construtivo. Os valores referente a condutividade térmica dos materiais, os dados de temperatura e umidade absoluta foram os mesmos utilizados no método de Creder (2004b), de modo que se possa compará-los.
- Os procedimentos de cálculo da NBR 16401 (2008) referenciam a ASHRAE; os autores Lamberts (1997) e Menezes (2010) em seus trabalhos traduziram as metodologias da ASHRAE. Nesta pesquisa, as

> fórmulas basearam-se nestes autores em consonância com a ASHRAE. Utilizou-se dados de radiação solar incidente na latitude 17° (sul) de Frota (2001), cuja latitude é a que mais se aproxima da latitude do local de estudo (Cuiabá, latitude 15°).

Conforme Tabela 18, as salas 118 e 119, que possuem as maiores dimensões, apresentaram pelo método da norma uma carga térmica superior que a instalada, diferente dos demais métodos.

No procedimento de cálculo da carga devido a insolação pelo método da NBR 16401 (2008) apresentou maiores valores se comparado ao procedimento de cálculo de Creder (2004b), apesar de ter utilizado o mesmo fator solar incidente (Frota, 2001). Esta diferença ocorre em decorrência do procedimento de cálculo de Creder (2004b) utilizar somente um coeficiente de ajuste de 0,15 e 1,15 para encontrar a carga térmica de insolação e a NBR 16401 (2008) considera o fator solar para aberturas com diferentes proteções solares, como no caso do vidro (0,87) elevando consideravelmente o resultado final.

Os procedimentos e equacionamentos da NBR 16401/2008 estão descritos no apêndice C.

6.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA CARGA TÉRMICA NO *ENERGYPLUS*.

Foram feitas simulações no *Energyplus* ao longo de um dia de projeto e ao longo do ano, utilizando o arquivo climático *SWERA* para Cuiabá. O Edifício foi dividido em 12 zonas térmicas e simuladas as cinco salas de aula do pavimento superior, as mesmas que receberam a automatização dos condicionadores de ar.

Por se tratar de um edifício com 38 salas de aula, sua modelagem resultaria em um esforço computacional elevado com um modelo muito complexo, a escolha das cinco salas se deve ao fato delas serem as mesmas em que foram feitas as medições de consumo medidas e o número de salas suficientes para avaliar os resultados da carga térmica e compará-los aos outros métodos. A Figura 41 ilustra as zonas de estudo.

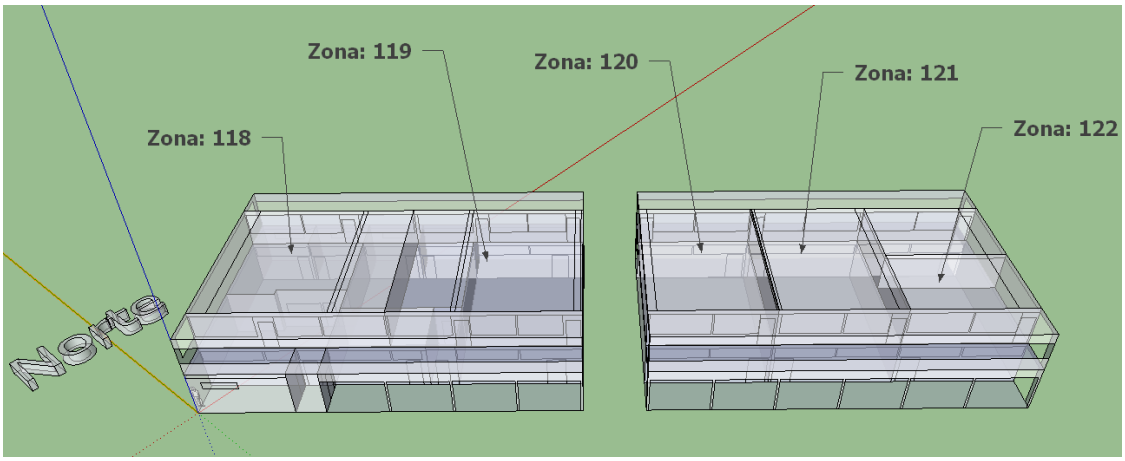


Figura 41 – Modelagem da envoltória e zonas internas da edificação sob estudo.

Dividir uma edificação em zonas térmicas possibilita analisar separadamente a resposta termoenergética de diferentes ambientes da mesma, permitindo reproduzir as condições reais dos ambientes, pois cada uma das salas possui sistemas individuais de condicionamento de ar e, assim, efetuar o cálculo da carga térmica para esses ambientes.

Nos métodos prescritivos, a carga térmica foi calculada para o dia 22 de dezembro, dessa forma foi simulado no *Energyplus* um sistema de condicionador de ar

split para este dia. A Tabela 19 apresenta os resultados da carga térmica do dia 22 de dezembro.

Tabela 19 – Carga térmica simulada no *Energyplus* de um ar *split*, para o dia 22 de dezembro.

Horas do dia	Salas				
	118	119	120	121	122
8:00	34.573,79	34.348,75	32.380,10	31.676,75	17.797,93
9:00	69.190,07	69.851,20	72.142,91	72.080,96	38.564,48
10:00	69.787,67	70.857,40	74.180,68	72.908,78	40.200,07
11:00	72.518,34	73.973,36	76.754,75	73.214,80	42.626,93
12:00	37.178,60	38.013,00	38.564,80	36.728,87	22.174,72
14:00	42.013,04	41.151,69	37.551,85	36.259,37	22.534,53
15:00	88.242,88	84.371,59	77.056,12	72.752,68	47.488,02
16:00	88.396,38	84.631,71	77.507,37	73.178,72	47.840,64
17:00	**89.163,78**	85.352,89	77.976,60	73.621,75	48.306,04
18:00	44.822,86	42.904,68	39.174,35	36.986,54	24.289,75
19:00	86.996,55	83.839,20	77.767,67	74.129,27	47.761,90
20:00	88.750,22	**87.167,83**	79.394,96	74.960,90	49.352,75
21:00	84.801,89	85.745,22	79.847,65	75.388,31	**49.361,46**
22:00	81.165,46	81.995,65	**80.318,38**	**75.832,75**	49.189,48

De acordo com a Tabela 19, se observa maiores cargas no período da tarde e noite. As salas 118 e 119 apresentaram maiores valores por possuírem maiores dimensões, consequentemente maiores cargas devido a pessoas, iluminação, etc. As perdas de calor ocorrem principalmente através da cobertura, no período noturno e pelo piso, durante o dia.

Para uma melhor visualização dessas diferenças de temperaturas, a Figura 42 apresenta uma comparação no decorrer do dia 22 de dezembro da temperatura externa *versus* temperatura interna de cada sala de aula simulada com o condicionador de ar *split*.

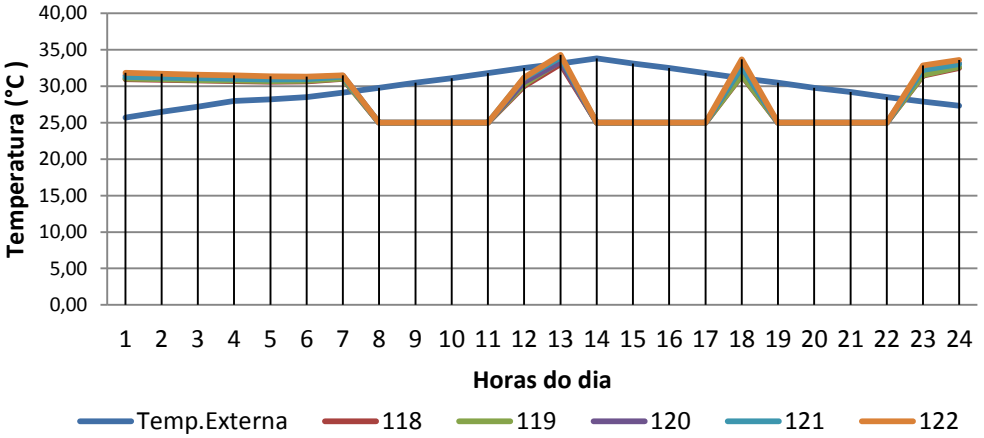


Figura 42 – Temperatura externa *versus* temperaturas das salas de aulas simuladas com condicionador de ar *split* para o dia 22 de dezembro.

Conforme Figura 42, pode-se verificar que o horário com a maior temperatura externa é às 14h00min. O condicionador de ar obedece ao período de funcionamento configurado no *schedule* de ocupação isto é, das 07h30min às 11h30min, das 13h30min às 17h30min e das 18h00min às 22h00min.

Para maior compreensão do comportamento da temperatura interna dentro dos ambientes no decorrer de um dia, a Figura 43 apresenta um gráfico da temperatura externa *versus* temperatura interna das salas sem a presença dos condicionadores de ar; considerou-se as mesmas cargas internas.

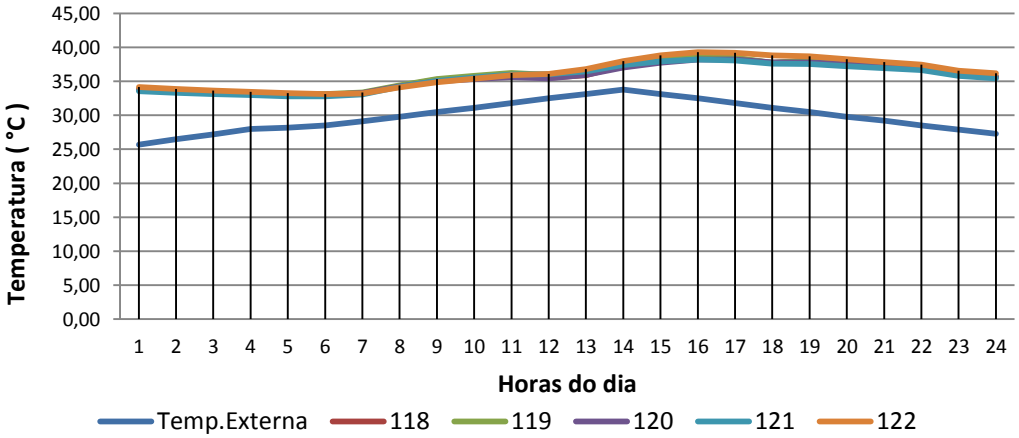


Figura 43 – Temperatura externa *versus* temperaturas das salas de aulas simuladas para o dia 22 de dezembro.

Conforme Figura 43, as temperaturas internas das salas foram maiores que a temperatura externa, estes valores elevados se devem a carga térmica interna presente nas salas de aulas, como o número de pessoas no ambiente, iluminação, carga de condução através de superfícies opacas e envidraçadas, cargas por insolação através das superfícies opacas e envidraçadas, caso não houvesse essas cargas as temperaturas seriam menores.

A Figura 44 apresenta de maneira sucinta, as cargas térmicas ao longo do ano de um sistema de condicionador de ar *split.*

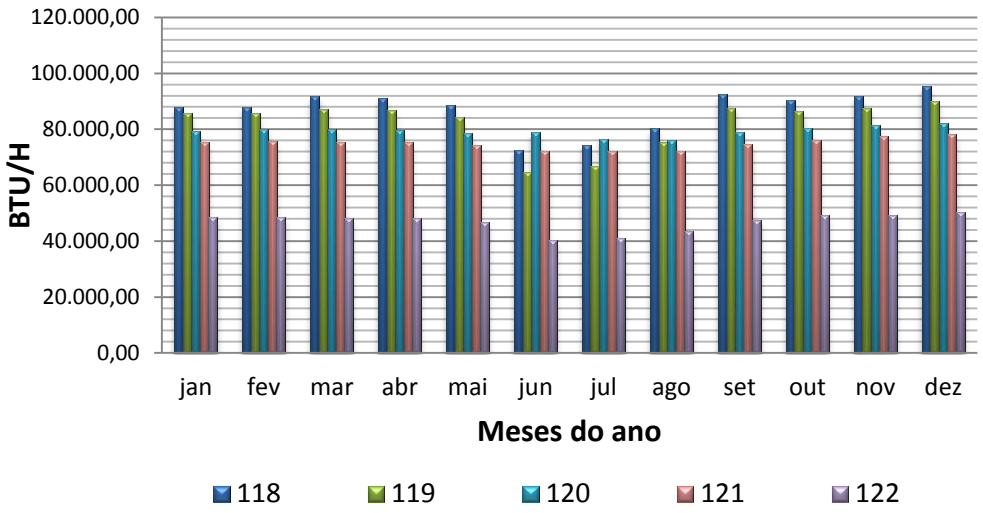


Figura 44 – Carga térmica máxima de um ar *split* simulada no *Energyplus* ao longo do ano.

O gráfico apresentado na Figura 44 demonstra o comportamento da carga térmica conforme cada mês do ano identificando uma variação em cada período.

A Tabela 20 permite avaliar a variação da carga térmica nas salas condicionadas no período de um ano climático. Como se pode observar, os meses de junho a agosto apresentam cargas térmicas inferiores em relação aos outros meses, isso se deve ao período climático, que nestes meses correspondem ao inverno brasileiro.

Tabela 20– Carga térmica máxima de um ar *split* simulada no *Energyplus* para cada um dos meses do ano..

	118	119	120	121	122
Jan	87.795,25	85.681,54	79.250,06	75.248,25	48.479,66
Fev	87.795,25	85.681,54	79.973,58	75.678,93	48.573,99
Mar	91.867,68	87.335,00	80.080,65	75.219,98	48.243,86
Abr	90.988,79	86.750,19	79.621,98	75.175,24	48.095,70
Mai	88.413,08	84.240,47	78.436,51	74.096,26	46.777,57
Jun	72.560,41	64.498,16	78.884,03	72.025,92	40.313,22
Jul	74.414,31	66.771,79	76.466,75	72.227,63	41.068,75
Ago	80.282,87	75.216,43	76.108,35	72.246,45	43.426,38
Set	92.366,68	87.618,62	78.919,59	74.755,82	47.630,99
Out	90.403,18	86.380,46	80.434,29	75.942,18	49.215,33
Nov	91.632,12	87.591,30	81.277,01	77.602,07	49.234,07
Dez	95.262,52	90.145,69	82.028,29	78.009,18	50.307,99

A Tabela 21 apresenta as cargas térmicas de pico simuladas no *Energyplus* para o mês de Dezembro comparado com as cargas térmicas encontradas nos métodos prescritivos.

Tabela 21– Comparação dos métodos prescritivos de carga térmica *versus* simulação no *Energyplus*.

Salas	BTU/h					
	Instalada	Creder (2004a)	Negrisoli (1987)	Creder (2004b)	NBR 16401(2008)	*Energyplus*
118	124.800	62.184,45	60.111,63	116.693,17	145.375,59	95.262,52
119	124.800	62.202,31	60.111,63	119.570,14	147.536,41	90.145,69
120	124.800	56.779,98	39.671,73	132.292,23	139.082,24	82.028,29
121	124.800	56.779,98	39.671,73	130.923,42	136.566,65	78.009,18
122	31.200	28.241,91	19.560,46	70.710,54	82.216,16	50.307,99

De acordo com a Tabela 21 os valores da carga térmica simulada pelo *Energyplus* apresentou valores abaixo das cargas instaladas, com exceção da sala 122; Em relação aos métodos prescritivos de Creder (2004b) e NBR 16401(2008) as cargas térmicas simuladas são inferiores, no entanto para os métodos estimativos de Negrisoli(1987) e Creder(2004a) as cargas térmicas são superiores. Na simulação anual, o mês de dezembro apresentou a maior carga térmica quando comparada aos demais meses, trata-se do início do verão.

Conforme os resultados encontrados, pode-se observar que a NBR 16401(2008) apresentou maiores cargas internas que os demais métodos. Os procedimentos de cálculo da norma brasileira basearam-se na ASHRAE. Devido o envelope construtivo receber sombreamento através dos corredores, inibindo a incidência da radiação solar direta nas paredes, houve uma diminuição da carga térmica das salas na simulação, nos métodos prescritivos o sombreamento dos corredores não foi considerado. O modelo computacional permite representar melhor a orientação e a incidência da radiação solar na edificação, e por seguinte, influencia na carga térmica recebida pelas superfícies opacas e vidros.

Assim, os resultados da simulação comprovaram que fatores como a temperatura do solo, características dos materiais, orientação solar, a parcela de ar de renovação afetam significativamente o resultado da carga térmica total do ambiente. Portanto, os métodos de Negrisoli e Creder de verão (2004a) devem ser utilizados como uma estimativa inicial, porém sabendo que os resultados estarão subestimados. O método de Creder (2004b) apresenta procedimentos mais detalhados, muito próximos aqueles apresentados na NBR 16401 (2008), seus resultados se comparados aos demais métodos foram os que mais se aproximaram dos resultados da simulação.

Em relação aos resultados da carga térmica fornecidos pela simulação computacional, cabe destacar:

- A modelagem mais precisa do envelope construtivo, no qual se incluiu a proteção solar realizada pelos corredores externos;
- O posicionamento correto das paredes da edificação em relação aos pontos geográficos (norte, sul, etc.);
- A avaliação simultânea da carga térmica das salas adjacentes, por exemplo, salas 118 e 119, 120 e 121 e 121 e 122, difere dos métodos prescritivos que as fizeram individualmente;
- A influência da modelagem do contato da edificação com o solo;

Todas essas observações são no sentido de reduzir a carga térmica total, pois influenciam na redução do ganho de calor das paredes e melhora da dissipação de calor da envoltória com o meio ambiente.

A temperatura do solo influencia na carga térmica, pois as trocas de calor entre o piso e o solo são determinantes no resultado final das trocas de calor do ambiente. Na simulação foram adotadas as temperaturas de Sorgato (2011), que simulou a temperatura do solo utilizando o programa *Slab,* contido no programa *EnergyPlus*. O programa *Slab* permite calcular interativamente a temperatura média do solo para cada mês do ano a partir das informações do arquivo climático, com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação. A Tabela 22 apresenta os valores adotados para a temperatura do solo.

Tabela 22– Temperaturas do solo calculadas através do programa *Slab*, consideradas na simulação.

Cuiabá	Média (ºC)
Jan	26,98
Fev	26,61
Mar	26,71
Abr	25,88
Mai	25,20
Jun	24,82
Jul	23,64
Ago	25,20
Set	25,87
Out	27,26
Nov	26,82
Dez	27,14

Fonte: Adaptado da Sorgato (2011).

Para efeito comparativo, refez-se a simulação utilizando uma temperatura de 20°C para o solo em todos os meses do ano. A Figura 45 apresenta os resultados da carga térmica máxima para o dia 22 de dezembro.

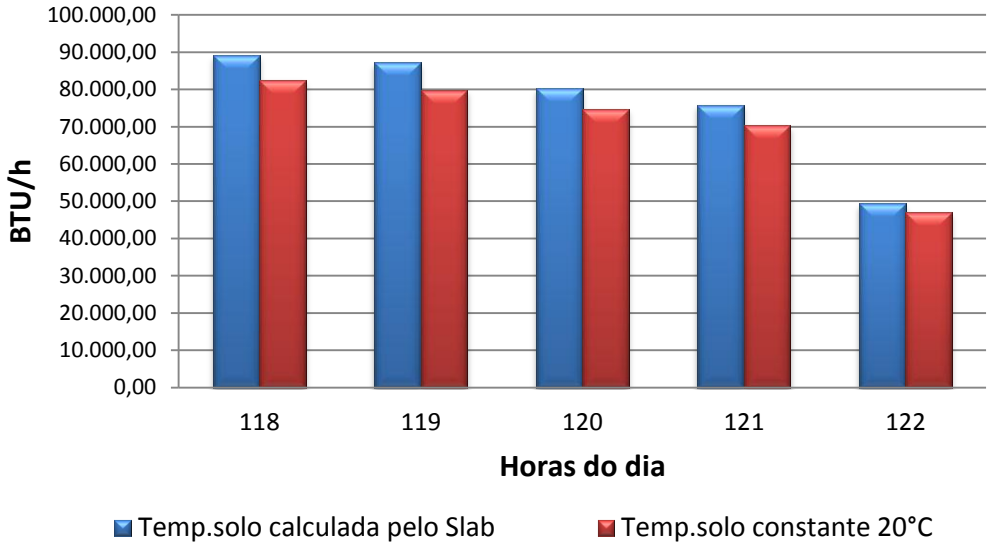


Figura 45 – Carga térmica máxima de um ar *split* simulada no *Energyplus* para o dia 22 de dezembro com temperaturas de solos diferentes.

Conforme a Figura 45, as cargas térmicas simuladas com as temperaturas adotadas por Sorgato (2011) foram em média 4.618,00 BTU/h maiores que as simuladas com temperatura de solo a 20°C reafirmando assim, sua influencia na carga térmica total do ambiente.

6.4. CLASSIFICAÇÃO DA EFICIENCIA ENERGÉTICA DOS CONDICIONADORES DE AR SEGUNDO O RTQ-C.

A avaliação do nível de eficiência energética dos condicionadores de ar do Bloco D, pertencente ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), campus de Cuiabá, seguiu as especificações do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e do Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C), dos requisitos de avaliação e os esclarecimentos do manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.

O presente trabalho realizou a avaliação apenas do condicionamento de ar, portanto, este será o único requisito abordado doravante. A Tabela 23 resume-se as informações sobre o número de aparelhos, marca, capacidade térmica, se possui sombreamento, e a etiqueta do Inmetro.

A classificação do nível de eficiência energética é feita inicialmente para cada recinto, depois se estende aos pavimentos e por fim a edificação como um todo. No cálculo de cada recinto pode-se ter ambientes com unidades condicionadas de mesma capacidade e classificação (Tabela 24), e de capacidades e classificações diferentes (Tabela 25).

De acordo com a classificação e capacidade de cada aparelho calculou-se o coeficiente de ponderação por potência somando-se todas as potências da sala (BTU/h) e dividindo a potência de cada aparelho pela potência total (BTU/h). Na sequência, multiplicou-se o coeficiente de ponderação encontrado pelo equivalente numérico da eficiência de cada aparelho, obtendo- se assim o resultado ponderado por aparelho.

O cálculo da eficiência de toda a edificação foi realizado de forma semelhante ao cálculo por ambiente, mas, foi obtido um coeficiente de ponderação por área. Esse coeficiente é obtido dividindo-se a área do recinto pela soma da área de todos os recintos (coluna coeficiente de ponderação por área, na tabela 26), o resultado ponderado é obtido multiplicando-se o equivalente numérico pelo coeficiente de ponderação, cuja somatória fornecerá o equivalente numérico geral da edificação, que define a eficiência do conjunto de condicionadores de ar.

Tabela 23: Levantamento dos condicionadores de ar.

Sala	Nº Alunos	Quant.	Modelo/Marca	BTU/h	Condensadora Sombreada	Nível de Eficiência Inmetro
101 B	4	1	Consul 18000BTUs CC118D	18000	Não	B
101 C	42	1	Consul 21000BTUs CC118D	21000	Não	B
101 D	5	1	Consul 21000BTUs CC118D	21000	Não	B
101 E	1	1	Consul 7500BTUs CC118D	7500	Não	B
101 F	1	1	Consul 18000BTUs CC118D	7500	Não	B
102 A	12	1	Consul 30000BTUs CC118D	30000	Sim	D
102 B	30	2	Mídea MPE-36CR-IF 36000	72000	Não	C
102 C	1	1	Consul 30000BTUs CC118D	30000	Não	D
103 A	30	1	Mídea MPE-36CR-IF 36000	66000	Sim	C
		1	Consul 30000BTUs			
103 B	1	1	Consul 18000BTUs CC118D	18000	Não	B
104	30	1	Mídea MPE-36CR-IF 36000	36000	Sim	C
105	15	1	Mídea MPE-36CR-IF 36000	36000	Sim	C
106	15	1	Mídea MPE-36CR-IF 36000	36000	Sim	C
107	30	1	Mídea MPE-36CR-IF 36000	36000	Sim	C
108	30	3	Consul 30000BTUs CCF30D	90000	Sim	A
109	30	1	Springer 21000BTUs	21000	Sim	A
110	30	1	Consul 30000BTUs CCF30D	30000	Sim	E
111	30	1	Consul 30000BTUs CCF30D	30000	Sim	E
112	2	1	Mídea MPE-36CR-IF	36000	Sim	C
113	3	1	Springer 21000BTUs	21000	Sim	A
114 A	2	1	Consul 10000BTUs CCF30D	10000	Sim	A
114 B	2	1	Consul 10000BTUs CCF30D	10000	Sim	A
114 C	4	1	Consul 21000BTUs CCF30D	21000	Sim	E
114 D	2	1	Consul 10000BTUs CCF30D	10000	Sim	A
115	30	4	Gren 21000BTUs	84000	Sim	B
116	30	2	Consul 21000BTUs	78000	Sim	A
		2	Consul 18000BTUs		Sim	E
117	30	2	Consul 30000BTUs CCF30D	96000	Sim	D
		2	Consul 18000BTUs CC118D		Sim	A
118	39	4	Fujitsu ASB 30A1 31200	124800	Não	B
119	39	4	Fujitsu ASB 30A1 31200	124800	Não	B
120	60	4	Fujitsu ASB 30A1 31200	124800	Não	B
121	60	4	Fujitsu ASB 30A1 31200	124800	Não	B
122	30	1	Fujitsu ASB 30A1 31200	31200	Não	B
123	30	2	Consul 18000BTUs CC118D	36000	Não	A
124	30	4	Consul 18000BTUs CC118D	72000	Não	A
125	30	1	Consul 30000BTUs CCF30D	30000	Não	E
126	30	2	Consul 18000BTUs CC118D	36000	Não	A
127	30	2	Consul 18000BTUs CC118D	36000	Não	A
128	30	1	Fujitsu ASB 30A1 31200	31200	Não	B

Tabela 24: Cálculo da eficiência energética de ambiente com unidades condicionadoras de níveis de eficiência iguais.

Calculo de Eficiência Energética						
Numero da Sala		***118***		***Bloco***	D-ENE	
Calculo de Eficiência por ambiente						
Ar Condicionado				Coeficiente de ponderação por potência	Resultado ponderado	Eficiência do ambiente
Modelo/Marca	Eficiência da unidade	Equivalente numérico	Potência (Btu/h)			
Fujitso ASB 30A1	B	4	31.200,00	0,25	1	B
Fujitso ASB 30A1	B	4	31.200,00	0,25	1	
Fujitso ASB 30A1	B	4	31.200,00	0,25	1	
Fujitso ASB 30A1	B	4	31.200,00	0,25	1	
TOTAL			124.800,00	1	4	

Tabela 25: Cálculo da eficiência energética de ambiente com unidades condicionadoras de níveis de eficiência diferentes.

Calculo de Eficiência Energética							
Numero da Sala / Térreo			***103 A***		***Bloco***		D-ENE
Calculo de Eficiência por ambiente							
Ar Condicionado					Coeficiente de ponderação por potência	Resultado ponderado	Eficiência do ambiente
Unid.	Modelo/Marca	Eficiência da unidade	Equivalente numérico	Potência (Btu/h)			
1	Mídea 36000BTUs	C	3	36.000,00	0,55	1,636363636	C
2	Consul 30000BTUs	D	2	30.000,00	0,45	0,909090909	
TOTAL				66.000,00	1	2,545454545	

De acordo com a Tabela 26, o bloco D de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso, campus Cuiabá, possui eficiência B segundo o RTQ – C, no requisito relacionado ao sistema de condicionamento de ar. Para que esta eficiência seja aumentada, é necessário substituir os equipamentos de menores eficiências (C, D e E) por equipamentos com maior eficiência, por exemplo, A.

Tabela 26– Cálculo de eficiência energética da edificação no requisito condicionador de ar.

Cálculo de Eficiência por um conjunto de ambientes						
Numero da Sala	Área (m²)	Eficiência do ambiente	Equiv. numérico	Coeficiente de Ponderação por área	Resultado ponderado	Eficiência do conjunto
101 B	13,8	B	4	$7{,}318 \times 10^{-3}$	0,029	B
101 C	43,68	B	4	$2{,}321 \times 10^{-2}$	0,0929	
101 D	41,08	B	4	$2{,}183 \times 10^{-2}$	0,087	
101 E	8,88	B	4	$4{,}720 \times 10^{-3}$	0,019	
101 F	8,88	B	4	$4{,}720 \times 10^{-3}$	0,019	
102 A	22,13	D	2	$1{,}176 \times 10^{-2}$	0,024	
102 B	55,77	C	3	$2{,}964 \times 10^{-2}$	0,089	
102 C	9,024	D	2	$4{,}796 \times 10^{-3}$	0,010	
103 A	83	C	3	$4{,}411 \times 10^{-2}$	0,132	
103 B	16,53	B	4	$8{,}786 \times 10^{-3}$	0,035	
104	42,26	C	3	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,067	
105	42,26	C	3	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,067	
106	42,26	C	3	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,067	
107	42,26	C	3	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,067	
108	85,71	B	4	$4{,}555 \times 10^{-2}$	0,182	
109	42,26	A	5	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,112	
110	42,26	E	1	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,022	
111	42,26	E	1	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,022	
112	42,26	C	3	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,067	
113	21,13	A	5	$1{,}123 \times 10^{-2}$	0,056	
114 A	21,13	A	5	$1{,}123 \times 10^{-2}$	0,056	
114 B	21,13	A	5	$1{,}123 \times 10^{-2}$	0,056	
114 C	21,13	E	1	$1{,}123 \times 10^{-2}$	0,011	
114 D	42,85	A	5	$2{,}277 \times 10^{-2}$	0,114	
115	85,71	C	3	$4{,}555 \times 10^{-2}$	0,137	
116	85,71	C	3	$4{,}555 \times 10^{-2}$	0,137	
117	85,71	A	5	$4{,}555 \times 10^{-2}$	0,228	
118	129,87	B	4	$6{,}902 \times 10^{-2}$	0,276	
119	129,87	B	4	$6{,}902 \times 10^{-2}$	0,276	
120	85,71	B	4	$4{,}545 \times 10^{-2}$	0,182	
121	85,71	B	4	$4{,}545 \times 10^{-2}$	0,182	
122	42,26	B	4	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,090	
123	42,26	A	5	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,112	
124	85,71	A	5	$4{,}555 \times 10^{-2}$	0,228	
125	42,26	E	1	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,022	
126	42,26	A	5	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,112	
127	42,26	A	5	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,112	
128	42,26	B	4	$2{,}246 \times 10^{-2}$	0,090	
TOTAL	1881,49				**3,69129426**	

6.5. ANÁLISE DAS MEDIDAS PARA UTILIZAÇÃO RACIONAL DA ENERGIA ELÉTRICA NOS CONDICIONADORES DE AR.

Os resultados da economia de energia elétrica são apresentados para cada medida proposta nesta pesquisa, quais sejam:

- Estratégia 1: controle do acionamento através de contatores e programador horário;
- Estratégia 2: controle de acionamento através de contatores e sistema de automatização.

Ao final, os resultados serão confrontados para uma análise geral das reais contribuições.

6.5.1 Automatização de acordo com o período de uso das salas de aulas-Estratégia 1 .

A primeira medida para economia de energia elétrica consiste em um sistema de automatização que permite o acionamento e desligamento dos condicionadores de ar de acordo somente com o horário normal das aulas, isto é, das 07h30min as 11h30min, das 13h30min as 17h30min, das 18h00min as 22h00min.

As salas que receberam a automatização foram: 118, 119, 120, 121 e 122. A Tabela 27 apresenta os consumos sem automatização proposta neste item e com a automatização de acordo com a estratégia.

O período da primeira medição foi 20 de setembro a 19 de outubro de 2010, enquanto o período da segunda medição foi de 8 de agosto a 26 de setembro de 2011, do qual se extraiu 30 dias consecutivos.

Tabela 27–Consumo de energia elétrica (kWh) no período de 1 mês de medição sem automatização *versus* com automatização de acordo com o turno das aulas.

Período	Sem automatização (kWh)	Com automatização - Estratégia 1 (kWh)
7:31 às 11:30	906,04	836,49
11:31 às 13:30	527,14	0
13:31 às 17:30	1.153,42	1.056,47
17:31 às 18:00	131,64	0
18:01 às 22:00	853,07	747,25
22:01 às 7:30	768,75	0
Total	**4.340,06**	**2.640.21**

As medições após a automatização dos condicionadores de ar com o acionamento/desligamento de acordo com o horário dos turnos das aulas totalizaram 2.640,21 kWh, representando uma economia de 39,17% em relação ao consumo sem automatização.

De acordo com a Tabela 27, os valores de consumo com automatização no período matutino e noturno dentro do período de aula, apresentaram-se menores se comparado à medição sem. Observa-se a inexistência de consumos fora do horário de aula, demonstrando-se como o uso racional evita o desperdício da energia elétrica.

A Figura 46 apresenta a comparação do consumo com e sem automatização.

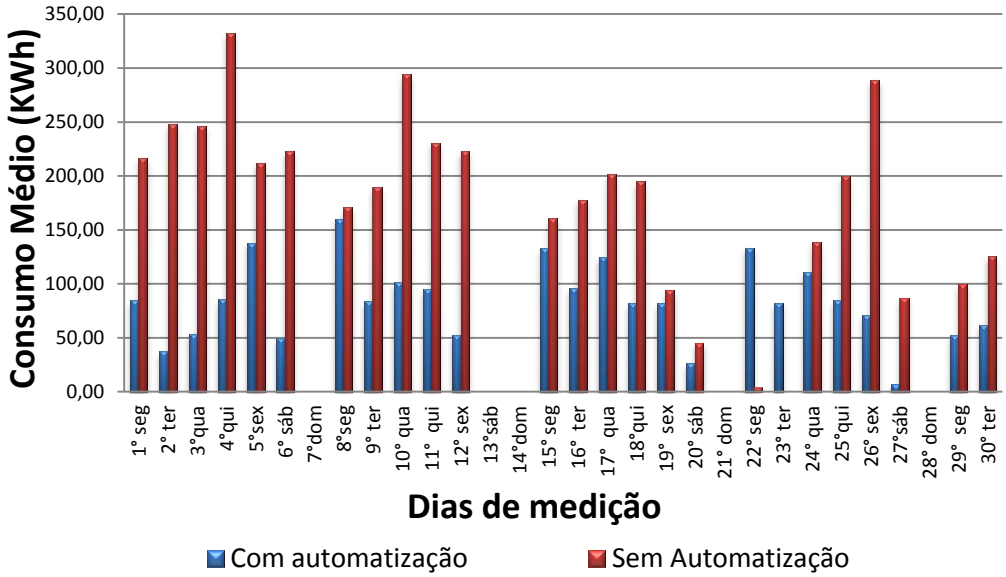


Figura 46 – Consumo de energia dos condicionadores de ar sem automatização *versus* com automatização de acordo com os turnos das aulas.

Lembrando que a primeira medição iniciou em uma segunda-feira e se estendeu por 30 dias; procedimento análogo para a segunda medição (com automatização). Assim, os períodos foram ajustados a partir do início das medições, resultando nas sequências de consumos mostrados na Figura 46.

Na Figura 46 observa-se que os consumos em geral estiveram abaixo daqueles obtidos na primeira medição (sem automatização); as exceções são aceitáveis, pois os

consumos estão coerentes com a potência das cargas e as horas disponíveis para funcionamento.

Os 22° e 23° dias de medição apresentaram maiores consumos em comparação com a medição sem automatização, pois no período da primeira medição esses dias foram véspera de feriado e feriado, dados estes já desprezados na primeira medição.

A Figura 47 mostra a demanda integralizada a cada 15 minutos. Selecionou-se aleatoriamente o dia 23 de setembro de 2011 pertencentes ao segundo período de medição, para efeito de visualização e análise.

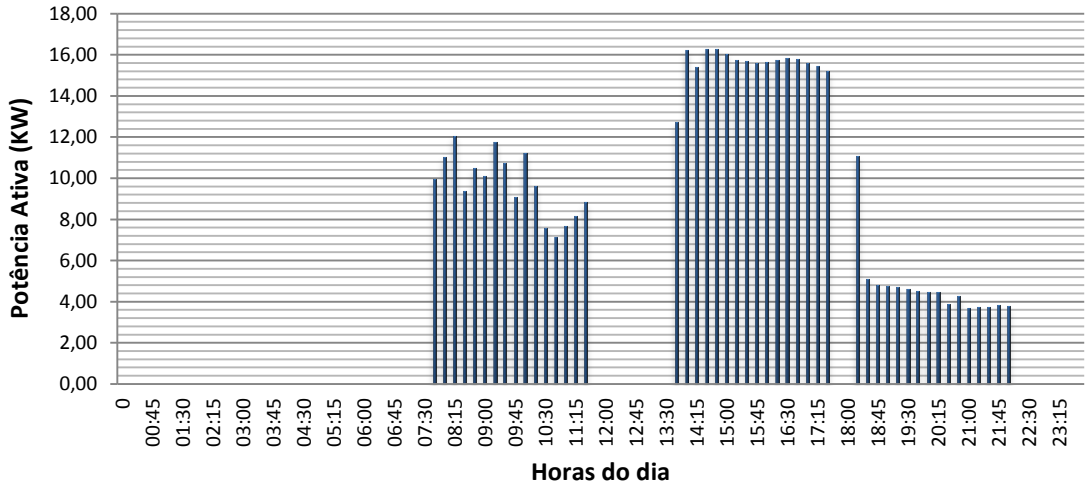


Figura 47 - Medição de potência ativa (KW) do dia 23 de setembro de 2011.

De acordo com a Figura 47, percebe-se como o sistema atuou durante o dia, com o acionamento e desligamento dos condicionadores conforme os períodos de uso das aulas.

Caso todos os condicionadores fossem ligados ao mesmo tempo, no início dos períodos de aula, é possível que se registre a demanda máxima em função do número de aparelhos (nove no máximo) e da potência individual (3100 W), pois haverá necessidade de retirar o calor de todas as salas, supondo uma temperatura interna maior, até atingir a temperatura de ajuste dos termostatos. A partir de então, os condicionadores poderão operar interruptamente, isto é, desligar e ligar os condicionadores para manter a temperatura próxima ao valor ajustado, resultando em uma diminuição na demanda.

Conforme Figura 47, a demanda no período noturno foi menor, pois possui quantidades de aulas inferiores se comparada aos demais períodos, e também pela temperatura externa ser mais baixa necessitando de menor carga térmica a ser refrigerada.

6.5.2 Automatização de acordo com o cronograma de utilização das salas de aulas - Estratégia 2.

A segunda medida para economia de energia elétrica foi implementada com a utilização de módulos de automação descritos em 5.2.2, através da automatização dos condicionadores de ar com o acionamento de acordo com o cronograma de utilização das salas. Ressalta-se que a medida anterior (estratégia 1) já se obteve um ganho significativo, mas com esta medida a economia é maior, pois nem todas as salas de aulas funcionam em todos os períodos.

As medições ocorreram no período de 14 de novembro a 13 de dezembro de 2011. Deve-se enfatizar que os períodos de medição possuem os mesmos números de dias, porém, ocorreram em meses diferentes. Entretanto, os dois períodos ocorreram durante o período letivo na UFMT.

A Tabela 28 apresenta os consumos após a automatização de acordo com esta medida.

Tabela 28– Consumo de energia elétrica no período de 1 mês de medição sem automatização e com automatização de acordo com o cronograma de horário de ocupação das salas.

Período	Sem automatização (kWh)	Com automatização - Estratégia 2 (kWh)
7:31 às 11:30	906,04	630,29
11:31 às 13:30	527,14	0
13:31 às 17:30	1.153,42	1.021,15
17:31 às 18:00	131,64	0
18:01 às 22:00	853,07	436,91
22:01 às 7:30	768,75	0
Total	**4.340,06**	**2.088.35**

Após a implantação da automatização dos condicionadores de acordo com o cronograma de horário das salas, o consumo total da energia elétrica com esta medida foi de 2.088,35 kWh, representando uma economia de 51,88%.

Conforme Tabela 28 observam-se consumos inferiores dentro do período de aula, ou seja, das 07h30min às 11h30min, 13h30min às 17h30min e das 18h00min às 22h00min utilizando-se a estratégia 2, se comparado com a medição sem automatização, esta diferença ocorre devido a estratégia 2 acionar aparelhos condicionadores somente no horário das aulas.

Para justificar melhor a diminuição do consumo após a implantação da estratégia 2, a Figura 48 apresenta demanda integralizada a cada 15 minutos referente a um dia de medição da estratégia de automatização dos condicionadores de ar conforme o cronograma de horário das salas, sendo selecionado o dia 02 de dezembro de 2011, uma sexta-feira.

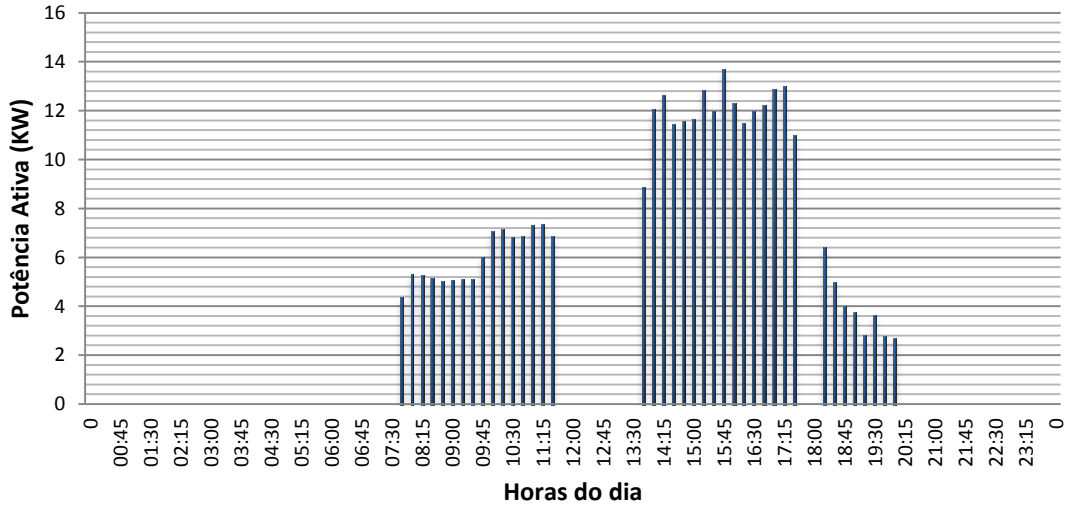


Figura 48 – Medição de potência ativa (kW) do dia 2 de dezembro de 2011.

Na Figura 48 percebe-se que no período noturno após as 20hs00min os condicionadores foram desligados, pois nesse período não está previsto o uso das salas. Com a automatização associada ao cronograma de uso das salas é possível liberar o uso dos aparelhos somente em seus respectivos horários de aulas, evitando assim aparelhos ligados desnecessariamente. A demanda apresentou valores menores, pois nem todos os condicionadores foram ligados.

Conforme Figura 48, a demanda no período noturno apresentou valores menores se comparada aos demais períodos, devido quantidades de aulas serem inferiores, neste caso, as aulas terminaram às 20h00min.

6.5.3 Comparação das medidas de eficientização

A Tabela 29 apresenta os consumos após a automatização de acordo com cada estratégia para redução do consumo.

Tabela 29–Consumo de energia elétrica no período de 1 mês de medição com automatização de acordo com cada medida de eficientização.

Período	Sem automatização (kWh)	Estratégia 1 (kWh)	Estratégia 2 (kWh)
7:31 às 11:30	906,04	836,49	630,29
11:31 às 13:30	527,14	0	0
13:31 às 17:30	1.153,42	1.056,47	1.021,15
17:31 às 18:00	131,64	0	0
18:01 às 22:00	853,07	747,25	436,91
22:01 às 7:30	768,75	0	0
Total	**4.340,06**	**2.640,21**	**2.088,35**

Conforme Tabela 29, o consumo da estratégia 2 foi inferior devido esta estratégia ser baseada nos horários de funcionamento das salas, isto é, a ocupação das salas varia conforme o dia da semana, por isso nem todas as salas de aulas precisam dos condicionadores ligados, representando uma economia de 20,90% quando comparada com a estratégia 1, que é baseada nos períodos normais (matutino, vespertino e noturno) de uso das salas.

Conforme já mencionado, a estratégia 1 obteve redução de 39,17% e a estratégia 2 permitiu uma redução de 51,89% quando comparadas com a medição sem automatização.

De acordo com a Tabela 29 observa-se que o consumo da estratégia 2 dentro do período de aula, ou seja, das 07h30min às 11h30min, 13h30min às 17h30min e das 18h00min às 22h00min foi inferior pois esta estratégia apresenta um controle mais rigoroso de comparada a primeira.

A Figura 49 apresenta um gráfico justapondo os três períodos de medição, que permite avaliar o consumo sem e com as estratégias de uso racional da energia elétrica e dos aparelhos.

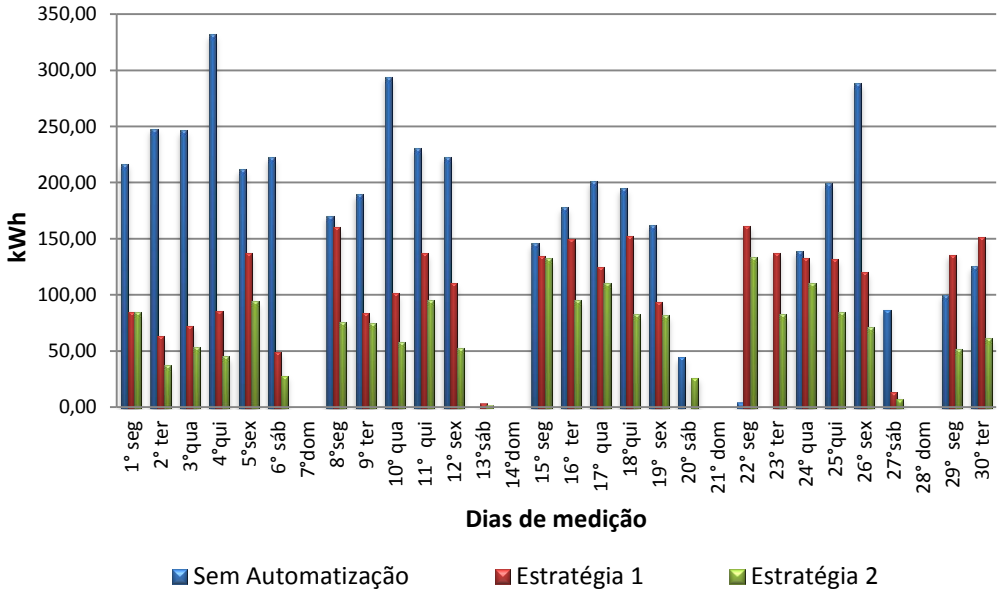


Figura 49 – Consumo (kWh) dos três períodos de medição.

Conforme mencionado, o 22° dia de medição sem automatização refere-se ao feriado de 12/10/2010 dados estes desprezados. Conforme Figura 49 é possível verificar uma significativa redução no consumo após a implementação das estratégias.

De fato, qualquer medida que venha a usar racionalmente a energia elétrica afeta diretamente o consumo da energia elétrica, porém com a automatização é possível ter-se esta redução de maneira contínua, como é o caso do acionamento e desligamento dos condicionadores de ar somente nos horários permitidos.

A Tabela 30 apresenta a demanda média nos intervalos de 07h30min às 11h30min, 13h30min às 17h30min e 18h00min às 22h00min para cada caso, ou seja, sem automação (A), com automação conforme os turnos (B) e com automação de acordo com o cronograma de uso das salas (C) para cada dia da semana.

Tabela 30– Demanda média para cada estratégia de automatização *versus* sem automação.

	7:31 às 11:30			13:31 às 17:30			18:01 às 22:00		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Seg	7,80	7,11	5,90	13,12	12,95	11,32	9,44	9,03	8,87
Ter	9,70	7,79	7,11	12,39	11,95	7,56	10,54	8,53	3,36
Qua	11,52	8,56	7,02	14,63	13,54	8,80	12,10	7,49	2,21
Qui	11,00	7,63	2,43	14,68	12,67	12,18	13,45	8,76	7,09
Sex	11,15	9,65	6,85	12,40	12,71	12,19	8,36	7,96	2,37
Sab	5,46	5,24	2,79	6,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A: Sem automação
B: Com automação conforme os turnos das aulas;
C: Com automação conforme cronograma ocupação das salas.

A Figura 50 apresenta os resultados das medições da demanda dos dias 24/09/2010, 23/09/2011 e 02/12/2011, todas realizadas em uma sexta-feira, extraídas de cada um dos três períodos de medição, associadas as medições sem automatização, estratégia1 e estratégia 2, respectivamente. Fica evidente a atuação das medidas para economia de energia elétrica, pois as ocupações previstas para as salas são as mesmas.

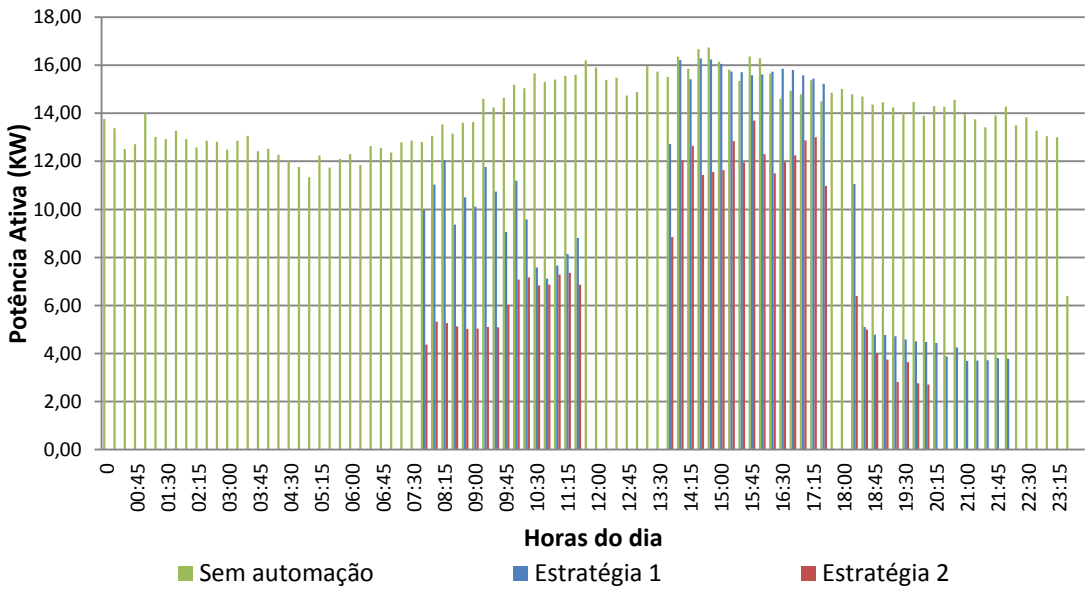


Figura 50 – Medição de potência ativa (kW) dos três períodos de medições referente a uma sexta-feira.

A estratégia 2 conduz a uma menor demanda em praticamente todos os períodos. Como exemplo, no horário das 20hs:00min os condicionadores foram desligados porém, neste mesmo período na estratégia 1, os condicionadores só foram desligados as 22hs:00min , ou seja, permaneceram 2 horas ligados desnecessariamente.

As potências ativas apresentaram-se maiores na estratégia 1, pois os condicionadores são acionados para uso sem a garantia de existência de aula, devido o seu controle ocorrer em função dos turnos de aulas. Estratégias que venham combater o desperdício da energia vêm a beneficiar não apenas na diminuição da fatura, mas também no uso racional da energia elétrica.

6.6. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DAS MEDIDAS EMPREGADAS.

O método utilizado para a análise das alternativas de investimento foi o *Payback* simples, que consiste em avaliar o tempo que um determinado investimento levaria para que o retorno ficasse maior que o valor investido. O método não leva em consideração os juros, nem os rendimentos após a recuperação do capital investido. A equação 16 expressa o cálculo do tempo de retorno.

$$\text{n(tempo de retorno)} = \frac{\text{Valor Investido}}{\text{Retorno Periódico}} \qquad (16)$$

No cálculo do tempo de retorno é preciso primeiramente conhecer o custo da energia sem nenhuma estratégia, na ponta e fora de ponta. Para se conhecer o valor do faturamento sem a automatização aplica-se a equação 17.

$$\boldsymbol{V_{F=}\,[CA_{PS}\cdot TC_{PS}+CA_{FS}\cdot TC_{FS}+DF\cdot TD]\,\frac{1}{1-(ICMS+COFINS+PIS)}} \qquad (17)$$

Sendo:

V_F: Valor faturável, R$;
CA_{PS}: Consumo ativo na ponta seca, kWh;
TC_{PS}: Tarifa de consumo na ponta seca, R$/kWh;
CA_{FS}: Consumo ativo fora de ponta seca, kWh;
TC_{FS}: Tarifa de consumo fora de ponta seca, R$/kWh;
DF: Demanda faturável, kW;
TD: Tarifa de demanda, R$/kW;
I: Impostos ($ICMS + COFINS + PIS$)

Os impostos foram calculados de acordo com a concessionária local. A medição inicial ocorreu no período de 20 de setembro a 19 de outubro de 2010, isto é, no período seco[8]. O horário de ponta[9] contratado pela Universidade Federal de Mato Grosso é das 19h00min às 22h00min.

Assim,

$$\boldsymbol{V_{F=}[595{,}30*1{,}28+3.744{,}75*0{,}1943+10{,}10*12{,}56\,]\frac{1}{1-(0{,}27+0{,}0469+0{,}0102)}}$$

[8] O período seco: Corresponde ao período de leitura das faturas referentes aos meses de maio a novembro (sete meses).
[9] Horário de Ponta: Corresponde ao intervalo de 3 horas consecutivas, ajustado de comum acordo entre a concessionária e o cliente, situado no período compreendido entre as 18h e 21h e durante o horário de verão e das 19h à 22h.

$$\mathbf{V_{F=[1.616,44]\frac{1}{0.6729}} = R\$\ 2.402,19}$$

a) Estratégia 1 - Automatização de acordo com o turno das aulas.

A Tabela 31 apresenta o valor de investimento na medida de eficientização com a automatização dos condicionadores de ar de acordo com o período de uso das salas de aulas.

Tabela 31: Valor investido na estratégia 1.

Materiais	Unid	Quant.	V.Unit R$	V.Total R$
Contactores	Unid	9	78,86	709,74
Programador horário	Unid	1	115,00	115,00
Caixa de distribuição	Unid	1	237,00	237,00
Fio 4mm²	Rl	1	121,00	121,00
Total R$				**1.182,74**

A unidade consumidora possui tarifa verde[10] do subgrupo A4. A medição após a implantação da estratégia 1 ocorreu no período de 8 de agosto a 27 de setembro de 2011, isto é, no período seco. Para se conhecer o valor faturável aplicou-se a equação 17.

$$\boldsymbol{V_{F=[CA_{PS}\cdot TC_{PS}+CA_{FS}\cdot TC_{FS}+DF\cdot TD]}\frac{1}{1-(ICMS+COFINS+PIS)}}$$

$$\boldsymbol{V_{F=[530,73*1,28+2.109,48*0,1943+7,98*12,56]\frac{1}{1-(0,27+0,0469+0,0102)}}}$$

$$\boldsymbol{V_{F=[1.189,43]\frac{1}{0,6729}= R\$\ 1.767,61}}$$

Para se conhecer a energia economizada ($\boldsymbol{E_e}$) através desta estratégia, é preciso subtrair o valor faturável sem automatização com o valor faturável da estratégia 1, conforme equação 18.

$$\mathrm{E_e}: VF_{Sem\ automatização} - VF_{Estratégia\ 1} \qquad (18)$$

[10] Tarifa Verde (horo-sazonal): Modalidade tarifária, estruturada para aplicação de um preço único de demanda de potência e de preços diferenciados de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano;

E_e: $2.402{,}19 - 1.767{,}61 = R\$\ 634{,}57$

Dessa forma, o tempo de retorno encontrado com a implantação desta primeira estratégia foi de:

$$\boldsymbol{n = \frac{1.182{,}74}{634{,}57} = 1{,}86\ meses}$$

Conforme demonstrado, o tempo de retorno do investimento ocorrerá 1,86 meses após a implementação desta primeira medida. As medições iniciais, bem como as medições após a implantação dessa estratégia foram realizadas no período seco, caso fosse realizada no período úmido, supondo-se a mesma diferença de consumo, no qual o preço da energia é menor ter-se-ia um pequeno aumento no tempo de retorno.

b) Estratégia 2 - Automatização de acordo com o cronograma de horário das aulas.

O valor do investimento para essa segunda medida de redução do consumo de energia elétrica é apresentado na Tabela 32.

Tabela 32: Valor investido na medida de automatização de acordo com o cronograma de aula.

Materiais	**Unid**	**Quant.**	**V.Unit R$**	**V.Total R$**
Contactores	Unid	9	78,86	709,74
Module Switch	Unid	1	1.251,00	1.251,00
Module Task	Unid	1	1.251.00	1.251.00
Module Relay	Unid	1	1.691,00	1.691,00
Module web	Unid	1	1.540,00	1.540,00
Interface pulsadora	Unid	1	94,80	94,80
Caixa de distribuição	Unid	1	237,00	237,00
Fio 4mm²	Rl	1	121,00	121,00
Fio 1,5mm²	Rl	1	70,00	70,00
Total R$				**6.965,54**

Para se conhecer o valor faturável após a implantação da medida de redução de energia elétrica com a automatização dos condicionadores de acordo com o

cronograma de horário das aulas aplicou-se a equação 17. As medições ocorreram no período de 14 de novembro a 13 de dezembro de 2011, isto é, no período úmido[11].

$$\boldsymbol{V_{F=[CA_{PU}\cdot TC_{PU}+CA_{FU}\cdot TC_{FU}+DF\cdot TD]}\frac{1}{1-(ICMS+COFINS+PIS)}}$$

$$\boldsymbol{V_{F=[278{,}25*1{,}25+1.810{,}09*0{,}17698+6{,}60*12{,}56]}\frac{1}{1-(0{,}27+0{,}0469+0{,}0102)}}$$

$$\boldsymbol{V_{F=[751{,}05]}\frac{1}{0{,}6729}=R\$\ 1.116{,}17}$$

Para se conhecer a energia economizada ($\boldsymbol{E_e}$) através desta estratégia, foi preciso calcular o valor faturável sem automatização para o período úmido e assim subtrair com o valor faturável da estratégia 2.

Assim,

$$\boldsymbol{V_{F=[595{,}30*1{,}25+3.744{,}75*0{,}17698+10{,}10*12{,}56]}\frac{1}{1-(0{,}27+0{,}0469+0{,}0102)}}$$

$$\boldsymbol{V_{F=[1.533{,}72]}\frac{1}{0{,}6729}=R\$\ 2.279{,}27}$$

Portanto,

$\mathrm{E_e}: VF_{Sem\ automatização} - VF_{Estratégia\ 2}$

$\mathrm{E_e}: 2.279{,}27 - 1.116{,}17 = R\$\ 1.163{,}09$

Assim, o tempo de retorno encontrado com a implantação desta segunda estratégia foi de:

$$\boldsymbol{n=\frac{6.965{,}54}{1.163{,}09}=5{,}98\ meses}$$

O tempo de retorno ocorrerá após 5,98 meses, isto é, seis meses após a implementação desta medida.

[11] Período Úmido: Compreende o intervalo situado entre os meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte (cinco meses).

A primeira estratégia, referente ao controle do uso dos condicionadores de acordo com o período de uso das salas de aulas, oferece a vantagem de dispor de pouco investimento para a sua implementação e um retorno mais rápido, porém nesta medida não é possível a integração de mais sistemas, como por exemplo, a iluminação ou sensores de presença, por constituir de um simples controle com contatores e programadores horários, caso necessite de qualquer mudança será necessário maiores investimentos.

Na segunda estratégia o retorno financeiro e o valor do investimento são maiores, ou seja, em seis meses confrontando com 2 meses da primeira estratégia. Entretanto, a estratégia 2 necessita de pessoal especializado para a programação dos módulos e alterações futuras necessárias em função das mudanças de ocupação das salas, que em particular são realizadas no módulo *task*, logo, uma análise mais coerente deveria incluir as despesas de manutenção de reprogramação dos módulos a cada período letivo sendo, portanto, necessário utilizar uma outra ferramenta de análise econômica.

As estratégias propostas para a redução do consumo de energia elétrica mostraram-se plenamente possíveis de serem implementadas, com pequenas intervenções na instalação elétrica.

A automatização com o uso de contatores e programador horário ou, mais sofisticada utilizando-se de módulos de automatização residencial, permitem tempos de retorno de investimento curtos, e o que é mais importante, efetivamente proporcionam redução no consumo e desperdício de energia elétrica.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho realizou inicialmente, um levantamento energético dos condicionadores de ar da edificação em estudo, através de medições no periodo de aulas para se conhecer os consumos e as demandas existentes. Observou-se um alto consumo fora do horário de funcionamento das salas, isto é, nos intervalos dos períodos matutino, vespertino e noturno, e também nas madrugadas.

Posteriormente, através dos métodos prescritivos de cálculo da carga térmica e simulação computacional foi possivel comparar a carga térmica existente e a necessária para as salas de aula. Deve-se destacar que a adequação da potência dos aparelhos de refrigeração à carga térmica correta para cada um dos recintos é condição necessária para aplicação do regulamento quando se quer realmente realizar a etiquetagem. A etiquetagem não foi o objetivo desse trabalho, o que se fez foi utilizar os procedimentos de avaliação do nível de eficiência no requisito condicionador de ar, para obter o nível de eficiência do conjunto de aparelhos do bloco D/ UFMT, para assim verificar a possibilidade de tomar medidas de eficientização relacionada a eficiência energética dos aparelhos.

No que se refere a utilização adequada (racional) dos aparelhos, foi proposto e implementada duas estratégias. A primeira proposta consistiu no controle do acionamento/desligamento dos condicionadores de ar de acordo com o período de uso normais (matutino, vespertino e noturno) das salas e a segunda estratégia tratou do controle através do cronograma de horário previsto de ocupação das salas de aulas. Antes e após a implantação de tais medidas foram realizadas medições com objetivo analisar o potencial de economia de energia.

Entre as principais conclusões alcançadas pelo trabalho de pesquisa aqui apresentado, pode-se destacar:

- A pesquisa identificou entre os resultados dos métodos prescritivos, que os métodos estimativos de Negrisoli (1987) e Creder (2004a) apresentaram resultados muito abaixo dos esperados, pois não levaram em consideração as características termofísicas dos materiais frente a radiação solar e renovação do ar, fatores estes importantes na determinação da carga térmica do ambiente;
- Os métodos prescritivos de Creder (2004b) e a NBR 16401 (2008) apresentaram em seus procedimentos, cálculos mais condizentes com a ASHRAE;
- O método prescritivo que mais se aproximou da simulação foi de Creder (2004b);
- O cálculo da carga térmica obtido através da simulação realizada através do *Energyplus,* apontou que a potência de refrigeração instalada está em torno de 25% superior aos resultados da simulação, com exceção à sala 122, pois os aparelhos instalados estão com potência acima da carga térmica necessária;
- Observou-se que a parametrização correta da temperatura do solo influencia a carga térmica total do ambiente;
- O emprego da automatização em condicionadores de ar é importante, pois trata-se de aparelhos, em geral, com maior consumo dentro de uma edificação;
- A avaliação da eficiencia energética dos condicionadores de ar instalados, baseada no Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, públicos e de serviços, que resultou na classificação B no requisito condicionadores de ar, também permitiu diagnosticar potenciais de eficientização e redução do consumo de energia elétrica. Para que esta eficiência seja aumentada, é necessário substituir os aparelhos de menor eficiência, como no caso os condicionadores com etiquetas C, D e E, por aparelhos com eficiência A. Por outro lado, a aplicação do regulamento em edificações novas é uma iniciativa que pode auxiliar os consumidores e construtoras a optarem por edificações com maior eficiência, não só no requisito de sistemas condicionadores de ar, mas, também, nos outros requisitos previstos pelo regulamento;
- O levantamento dos aparelhos instalados no bloco de salas de aulas sob estudo permitiu verificar variações na classificação da eficiência, modelos e

fabricantes, identificando que a falta de padronização dificulta e aumenta os custos com manutenção;

- O Regulamento Técnico (RTQ-C), no requisito condicionador de ar exige que os aparelhos de condicionadores de ar estejam ajustados a carga térmica do ambiente. Assim, na avaliação da capacidade térmica dos condicionadores, realizou-se cálculos da carga térmica em todos os ambientes, através de três métodos prescritivos presentes na literatura nacional, norma brasileira e simulação computacional, chegando-se a conclusão de que na edificação não se utilizou um critério único para definição da potência dos condicionadores de ar;
- Ao analisar as diferentes possibilidades de automação e controle para condicionadores de ar observou-se que o emprego do sistema de automatização que permite o acionamento e desligamento de acordo somente com o horário normal das aulas representou uma economia de 39,17%. Por outro lado, a automatização dos condicionadores de acordo com o cronograma de uso das salas alcançou uma economia de 51,88%, nos períodos medidos;
- Na análise da viabilidade econômica dos sistemas de automação empregados verificou-se que a primeira medida de eficiência (estratégia 1), apresentou menor tempo de retorno do investimento, que a segunda medida. Trata-se de menor investimento e retorno rápido, porém é um sistema mais simples e com um controle menos rígido do funcionamento dos aparelhos;
- O sistema empregado na segunda medida (estratégia 2) é um sistema flexível, possível de ser ampliado através da inserção de mais módulos e reprogramado em função das alterações na ocupação das salas. Na pesquisa foram controlados somente os condicionadores de ar, mas pode-se integrar a iluminação, sensores de presença, câmera de segurança, ou seja, o controle pode ser ampliado para demais subsistemas.

O emprego da automação em edificações não pode ser visto como a única solução para uso racional da energia elétrica, é preciso levar em consideração o que se deseja controlar e se o sistema a ser controlado é eficiente.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para futuros trabalhos acerca do tema análise de medidas para eficientização e uso racional da energia elétrica em condicionadores de ar, pode-se citar:

a) Utilização de programas de simulação para apresentar uma proposta de melhoria do conforto térmico em edificações através da diminuição da carga térmica nos ambientes, comparando um modelo do edifício real com um modelo contendo as alterações sugeridas, apontando sua eficácia;

b) Análise da edificação pelo método prescritivo nos demais requisitos do RTQ-C e simulação a fim de se comparar e avaliar seus resultados;

c) Realizar simulação da carga térmica da edificação com diferentes tipos de materiais, comparar e avaliar seus resultados;

d) Automatização de demais sistemas na edificação, através do controle das iluminações e computadores, realizar medições e analisar o custo benefício das medidas implementadas;

e) Controle da carga térmica através da automatização das salas de acordo com o conforto térmico necessário.

8 REFERÊNCIAS

8.1 REFERÊNCIAS CITADAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12010: Condicionador de ar doméstico - Determinação do coeficiente de eficiência energética** - Método de ensaio. ABNT. Rio de Janeiro. 1990.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220: Desempenho Térmico de edificações**. ABNT. Rio de Janeiro. 2008.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16401-1 (2008) - Instalações **de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários.** Parte 1: Projetos das Instalações. ABNT. Rio de Janeiro.

ALFREDO, J. C. **Análise Crítica da Norma Brasileira ABNT NBR 16401-1 (Instalações de Ar Condicionado - Sistemas Centrais e Unitários Parte1-Projeto de Instalações), 16401-2 (Parâmetros de Conforto Térmico) e 16401-3 (Qualidade do Ar Interior).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2011.

ALVAREZ, A. L. M. **Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos usos finais em Instalações de Ensino e Similares.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia

e Automação Elétrica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

ASHRAE, **Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refri-gerating and Air-Conditioning Engineers**, USA, 1997.

BASSETTO, G. R., ZAPAROLLI, G. A. & FRAY, G. S. **Utilização de Técnicas de Edifícios Inteligentes na Faculdade de Engenharia Mecânica**. UNICAMP. Artigo. Revista Ciências do Ambiente On-Line. Agosto, 2006. Volume 2, número 2.

BOLZANI, C. A. M. **Análise de arquiteturas e desenvolvimento de uma plataforma para residências inteligentes.** Tese (Doutorado em engenharia elétrica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

BOLZANI, C.A. **Desenvolvimento de simulador de controle de dispositivos residenciais inteligentes: uma introdução aos sistemas domóticos**. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) EPUSP. São Paulo, 2004.

BORDUNI, R. PIMENTA, J. **Análise do Impacto de Elementos de Sombreamento Externo sobre a carga Térmica de Edificações**. Artigo. X COBRAVA - Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar Condicionado, ventilação, Aquecimento e tratamento de ar. São Paulo, 2007.

BRAGA, L. C. **Estudo dos aspectos de eficiência energética de edificações com uma abordagem de automação predial. (**Dissertação) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG, 2007.

BRAIN, M. ***How Stuff Works*** **- Como funciona o ar condicionado**. 2009. Disponível em: <http://casa.hsw.uol.com.br/ar-condicionado.htm>. Acessado em 11/10/2011.

BRASIL. Decreto - Lei nº 4.059 - **Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**. Brasília, 19 de dezembro de 2001c.

BRASIL. Lei N°10.295 - **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 18 out. 2001b.

BRASIL. Lei N°9.991 - **Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa de desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, julho. 2000a.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J. de O. **Análise do Risco na avaliação de projetos de investimento: Uma aplicação do Método de Monte Carlo**. Caderno de Pesquisas em Administração. São Paulo, v.1, n.6. 1998.

BUSHBY, S. T. (1997). **BACnet a standard communication infrastructure for intelligent buildings.** Automation in construction. pp. 529-540. Disponível em: <http://www.bacnet.org/Bibliography/AIC-97/AIC1997.htm> Acesso em: 20/09/2011.

CARDOSO, R. B. **Avaliação da economia de energia atribuída ao Programa Selo PROCEL em *freezers* e refrigeradores.** Dissertação (Mestrado em ciências em engenharia da energia). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2008.

CARRIER. ***Hi Wall Carrier X-Power Inverter***. 2011. Acesso em 06 de dezembro de 2011. Disponível em <http://www.springer.com.br>

CASTRO, M. I. De. **Aplicação da *Technology Readiness Index* para Definição de Escopo em Projetos de Automação Residencial.** Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica). Universidade Federal de Santa Goiás. Goiânia, 2009.

CLASP - Collaborative Labeling and Appliance Standards Program. **History and Scope of Energy-Efficiency Labels and Standards**, 2004a, disponível em: http://www.clasponline.org/clasp.online.resource.php; acesso em 03 de agosto de 2011.

CORBIOLI, N. **Ar condicionado: janela, split ou central. Para esfriar o ambiente, e o bolso**. In: Revista Projeto Design. São Paulo, Ed.297. 2004.

CREDER, H. **Instalações de ar Condicionado. Estimativa de Carga Térmica de Verão**. 6ª Ed.Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 2004 a.

CREDER, H. **Instalações de ar Condicionado. Cálculo da Carga Térmica**. 6ª Ed.Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 2004 b.

DURANTE, L.C., SILVA, E. de C., JÚNIOR, R. A, NOGUEIRA, M. C. de J A. **Arquitetura escolar e conforto ambiental em Cuiabá-MT**. Contribuições ao estudo em Conforto Ambiental na grande Cuiabá-MT. Vol 1. Cuiabá. EdUnic. 2009.

ECHELON. ***The LonTalk Protocol***. 2007. Acesso em 20 de setembro de 2011. Disponível em: <http://www.echelon.com>

EIA. ***Electronic Industries Alliance*** (EIA). 2007. Disponível em <http://www.eia.org> Acesso em 20 de setembro de 2011.

EPE- Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano IV, Nº41, Fev. Rio de Janeiro RJ, 2011.

FANGER, P. O. ***Thermal comfort: analysis and applications in environmental enginneering***. New York : McGraw-Hill, 1972.

GOLDEMBERG, J. & CHU, S. **Um futuro com energia sustentável: Iluminando o caminho**. Trad. Borba, M. C. V., Gaspar, N. F. São Paulo: FAPESP. Academia Brasileira de Ciências, 2010. Disponível em: http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf. Acessado em: 10 de setembro de 2011.

FROTA, A. B. SCHIFFER, S. R. Manual do Conforto térmico: Arquitetura e Urbanismo. Studio Nobel, 2001.

GOMAZAKO, M. S. **Conservação de Energia em Edifícios Comerciais através da Implementação de Dispositivos de Automação.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2007.

GELLER, H. **Índices mínimos de Eficiência Energética, etiquetas e procedimento de ensaios para refrigeradores, freezers e condicionadores de ar de janela no Canadá, México, Estados Unidos, China e outros países em desenvolvimento e em transição**. CLASP Collaborative Labeling and Appliance Standards Program. 2006. Disponível em: <http://www.clasponline.org,>. Acessado em 11/10/2011.

IEA – International Energy Agency. **Towards a more energy efficient future: applying indicators to enhance energy policy**. OECD – Organisation for Economic Co-Operation and Development. 2009.

INMETRO - **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Coeficiente de Eficiência Energética em condicionador de ar janela.** Disponível em: <http://inmetro.gov.br>. Acesso em: 08/02/2012.

INMETRO - **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Coeficiente de Eficiência Energética em condicionadores de ar *Split Hi-Wall*.** Disponível em: <http://inmetro.gov.br>. Acesso em: 08/02/2012.

ISOLANI, P., COMINI, R., CLEMENT, F., PUENTE, F., ORLANDI, A., OLIVEIRA, I., LIMA, P. & BEIRÃO, D. **A utilização racional da energia em edifícios públicos**. Ener Building.eu - Energy Efficiency. Lisboa, maio, 2008.

JANNUZZI, G. de M. **Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de Mercado. Uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil**. Editora: Autores associados. Fapesp. Campinas, SP. 2000.

KASINSKI, A., PASSOS, P. L. B. & CURADO, F. F. **Tendências e Oportunidades na Economia Verde: Eficiência Energética**. Instituto de estudos para o desenvolvimento industrial. Centro de estudos em Sustentabilidade da EASP – Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 2010.

KRAUSE, C. B., RODRIGUES, J. A., MAIA, J. L., PACHECO, L. F., AMÉRICO, M. & TEIXEIRA, P. **Manual de prédios públicos eficientes em energia elétrica**. IBAM/ELETROBRÁS/PROCEL. Rio de Janeiro, 2002.

KERZNER, H. Project Managment – **A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling**. Toronto, Canada, John Wiley & Sons, 1998. 1180 p. KHAN.

LAM. C. **Empreendimentos Eco-Sustentáveis: Aplicação de parâmetros de Eco-Sustentabilidade em Edifícios Comerciais no Mercado Imobiliário de São Paulo**. Monografia (MBA em Gerenciamento de Empresas e Empreendimentos na Construção Civil em Ênfase em *Real Estate*). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

LAMBERTS, R., GHISI, E., ABREU, A. L. P. & CARLO, J. C. **Desempenho Térmico de Edificações. LABEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina.** Florianópolis, 2005.

LAMBERTS, R., DUTRA, L. & PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, p.192, Pro Livros. São Paulo. 1997.

LAPPONI, J. C. **Projetos de Investimento**. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 2000. 378 p.

LEÃO, E. B. C**arta bioclimática de Cuiabá**. Dissertação (Mestrado em física e meio ambiente). Departamento de Física. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2007.

LEVINE, M., ÜRGE-VORSATZ, D. **Residential and commercial buildings. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-

MAGALHÃES, L. C. **Orientações gerais para conservação de energia elétrica em prédios públicos.** Rio de Janeiro: PROCEL, 2001.

MASCARÓ et al. (1992). **Incidência das Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios**. Saga/DC Luzatto. Porto Alegre.

MELO, A. P. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

MENEZES, M. S. **Refrigeração e Ar Condicionado**. 2010. Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/64315136/Apostila-Refrigeracao-e-Ar-Condicionado>. Acessado em 14/07/2012.

MIRANDA, A. de M. **Desempenho térmico em dormitórios e consumo de energia elétrica residencial: estudo de caso em Cuiabá-MT.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2011.

MONTEBELLER, S. J. **Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fios – wireless na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia e Automação Elétrica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

MORANO, C. A. R. **Aplicação das Técnicas de Análise de Risco em Projetos de Construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Fluminense. Niterói - RJ, 2003.

MORENO, G. & HIGA, T. C. S. **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente**. Entrelinhas, 2005.

MURATORI, J. R. **Instalações Elétricas com novas abordagens**. 2008. Artigo disponível em: HTTP://www.institutodofuturo.com.br/setor_eletrico_set08.htm. Acesso em: 20/09/2011.

NEGRISOLI, M. (1987). **Instalações Elétricas - Projetos Prediais em Baixa Tensão.** Editora Edgar Blücher Ltda. Rio de Janeiro.

NEOCONTROL. **Manual Técnico de Instalação**. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://neocontrol.com.br>. Acesso em 11/10/2011.

NEVES, R. P. A. de A. **Espaços Arquitetônicos de Alta Tecnologia: Os Edifícios Inteligentes.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

PINTO, F. da C. **Sistemas de automação e controle.** SENAI - Serviço de aprendizagem industrial. Departamento regional do Espírito Santo. CETEC - Centro de educação e tecnologia Ariovaldo Fontes. Bento Ferreira. Vitória - ES, 2005.

PISTOLOZZI, J. F. de O. **Considerações para Implantação de Sistemas de Automação Predial.** Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Monas. Ouro Preto, 2009.

PRADO, R.T.A. **Conforto térmico**. Universidade de São Paulo, MBA Gerenciamento. São Paulo, 2003.

PROCEL EDIFICA. **Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações**. Disponível em http://www.eletrobras.com/pci/main.asp acessado em: 10 de setembro de 2011.

PROCEL. 1. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil. Sumário Executivo – Ano Base 2005**. 2007. Disponível em: <www.procelinfo.com.br> Acessado em: 26 jun. 2011.

QUEIROZ. J. C. B. de. Apostila: **Automação VIII. Engenharia Eletrônica e de Telecomunicação**. PUC Minas - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

ROAF, S. et al. ***Ecohouse - A Design Guide. Achitectural Presee***, USA. 346p. 2001. acess: www.4shared.com/.../Eco_house_-_A_Design_Guide__Ma.html.

ROSEQUIST, G. LIN, J. ***Stay ccol with less work: China´s new energy-efficiency standards for air conditioners***. Energy Policy. Vol. 36, pg 1090-1095, 2008.

RTQ-C (2010). **Manual de aplicação do Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/ > Acesso em: 10 setembro. 2011.

SIEMENS (2007). **Sistema *instabus EIB*.** Disponível em: HTTP://www.siemens.com.br acesso em 20 de setembro de 2011.

SILVA, V. F. P. **Impactos da Redução do Consumo de Energia Elétrica em Manaus através de Medidas de Eficiência Energética em Climatização Residencial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

SILVEIRA, P. R; SANTOS, W. E. **Automação e controle discreto**. 5 edição, Érica, São Paulo, 2002.

SOUZA, E. P. de. **Economia de Energia em Ar Condicionado no Brasil: Eficiência e Economicidade**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá – MG. 2010.

SORGATO, M. J. **Relatório Técnico da base de simulações para o RTQ-R**. Disponível em: <http:// http://www.labeee.ufsc.br/ > Acesso em: 28 setembro. 2012.

TERUEL, E. C., NOVELLI FILHO, A. **Principais Tecnologias de Automação Residencial comercializadas no Brasil e suas características. II Workshop de Pesquisa e Pós-Graduação do Programa de Mestrado em Tecnologia do Centro Paula Souza**. São Paulo, 2007.

TEZA, V. R. **Alguns aspectos sobre a Automação Residencial – Domótica**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

VALE, H. M. F. et al. **Desenvolvimento de Aplicações para Sistemas Domóticos utilizando programação orientada por objectos em C++.** In Revista do DETUA, vol.1, nº 4, Setembro, 1995.

XIAOTONG, D., et al. **Determination of Effective Energy in Buildings**. IEEE. International Conference on Automation and Logistics. Shenyang, China. August, 2009.

8.2 REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ARA, P. J. S. **Desempenho de Sistemas de Condicionamento de Ar com utilização De Energia Solar em Edifícios de Escritórios.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

ASHRAE. *Air contaminants*. ANSI/ASHRAE standard 62. 2005.

BAKER, N. STEEMERS, K. **Energy and environment in architecture: a technical design guide**. London, New York: Spon, 2000.

CANATO, D. A. **Utilização de Integração de Sistemas Direcionados a Domótica - Estudo de Caso para Automação Residencial**. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

CÚMANO, G. N. R. **Análise técnico-económica de diferentes estratégias passivas de eficiência energética em edifícios - Caso de estudo: Edifício Pombalino**. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica). Universidade Técnica de Lisboa. Portugal, 2009.

GOMES (2007) apud Junior, R. S. N. L. (2008) **Impacto Econômico do Uso de ar condicionado em edifícios residenciais na cidade de Maceió/Al**. Dissertação

(Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas. Maceió.

KLUSENER, C. S. **Aplicação do Regulamento para Etiquetagem do nível de Eficiência Energética de Edifícios: O Caso do Centro de Tecnologia da UFMS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Caratina. Santa Maria – RS, 2009.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de Metodologia Científica. São Paulo: Editora Altas S.A., 2003.

PADILHA, G. R. **Análise de cargas térmicas e dimensionamento de sistemas de ar condicionado para o salão de atos da UFRGS.** Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, 2010.

PENA, M. S. **Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração**. PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 1a edição/julho 2002.

PEREIRA, P. H. C. **Robótica e automação**. Centro Universitário Sul de Minas - UNIS, Minas Gerais, 2001.

SAKAMURA, K. the tron intelligent house. IEEE Micro, v.10, n. 2, p. 6-7, 1990.

SERAFIN, R. M. **Avaliação da redução do consumo de energia elétrica em função do *Retrofit* no edifício sede da Eletrosul.** Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

SOUZA, A. P. A. de S. **Uso da Energia em Edifícios: Estudo de Caso de Escolas Municipais e Estaduais de Itabira, Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Minas Gerais). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

VENTURINI, O. **Sistemas de Climatizacao Ambiental**. Cursos em Eficiência Energética. UNIFEI, 2007.

WEBB, Warren, ***Consumer Bus Defends Home Turf***. in EDN Access: http://www.edn.com/article/485389-Consumer_bus_defends_home_turf.php

GUNDIM, R. S. **Desenvolvimento e aplicação de metodologia para auxílio da engenharia em automação residencial - MEAR**. (Dissertação) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2007

HAMABE, R. et al. **Conformance test concept for the home bus system. Consumer Electronics, IEEE Transactions on**, V.34, n. 3 SN - 0098-3063, p. 700-704, 1988.

APÊNDICES

APÊNDICE A

PROGRAMAÇÃO DOS MÓDULOS DE AUTOMAÇÃO

Após a instalação física dos módulos faz-se necessário a utilização de um computador, conectado ao roteador, no qual está instalado o software *Neocdata*, que realiza a criação de ações e eventos para a utilização dos módulos. Primeiramente, procuram-se os módulos disponíveis na rede através da opção – Procurar módulos (figura A1.a), cujo resultado será as informações, por exemplo, de possíveis módulos conforme mostrado na figura A1.b. É possível inserir/substituir os módulos manualmente – opção Inserir Módulos, resultando na abertura de uma nova janela, na qual deverão ser inseridos: o endereço MAC do módulo e o modelo do módulo (figura A1.c). Também é possível nomear individualmente cada módulo através da opção – Nomear Módulos (figura A1.d) Após finalizar a inserção de todos os módulos manualmente, deve-se utilizar o reconhecimento dos módulos através da opção – Reconhecer Módulo(s), permitindo que todos os módulos sejam ativados.

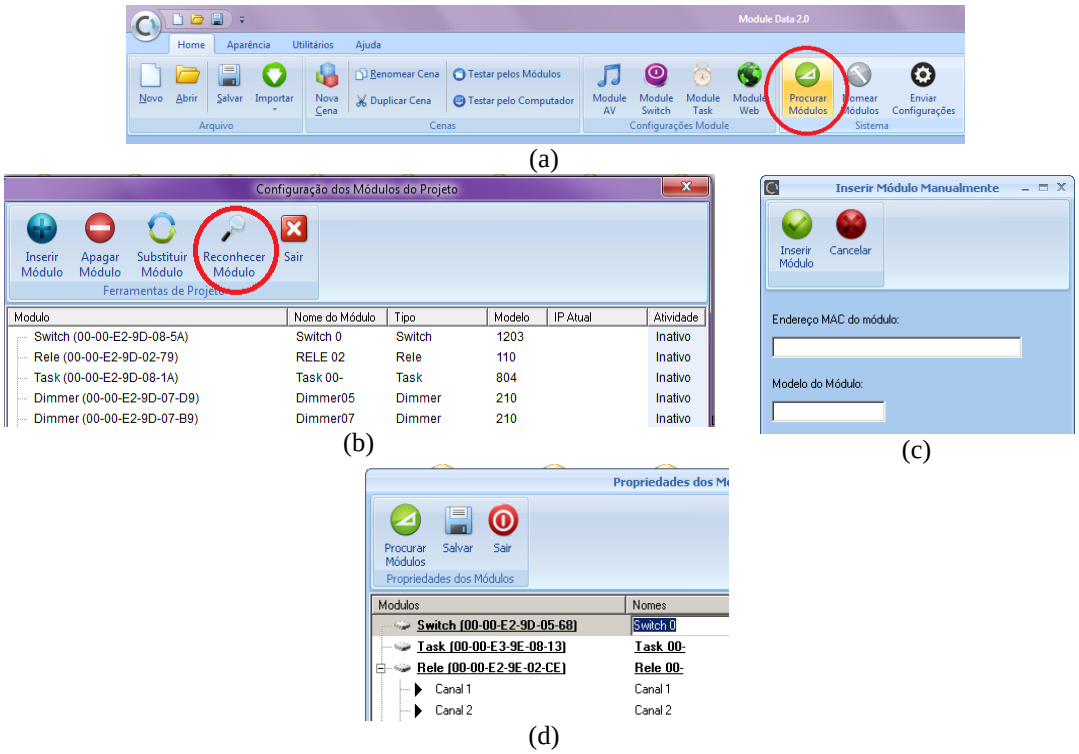


Figura A1 – Configuração dos módulos do projeto: a) Procurar módulos; b) Reconhecer módulo(s); c) Inserir/substituir módulos manualmente; d) Propriedades dos módulos – Nomear módulos.

Após o reconhecimento dos módulos é possível iniciar a criação de cenas, que se constitui na utilização das funções e recursos disponíveis nos módulos ativos (figura A2).

Ao escolher a opção - Nova Cena abre-se uma nova janela (figura A3). Nessa janela é possível dar um nome a cena; um número da cena (valor *default* do programa), a pasta na qual será gravada e o ícone associado à cena são automaticamente associados, restando a opção de utilizar ou não via Web ou celular. Em particular, na implementação realizada neste trabalho, a cena ligar foi associada ao módulo *Relay 00*, porém poderia ser associada a outros módulos *Relay*, caso houvessem. Deve-se então, clicar no ícone Rele 00- (a esquerda na janela, em módulos instalados) para escolher quais canais de saída serão utilizados (figura A4).

Figura A2– Opção – Criar Nova cena(s).

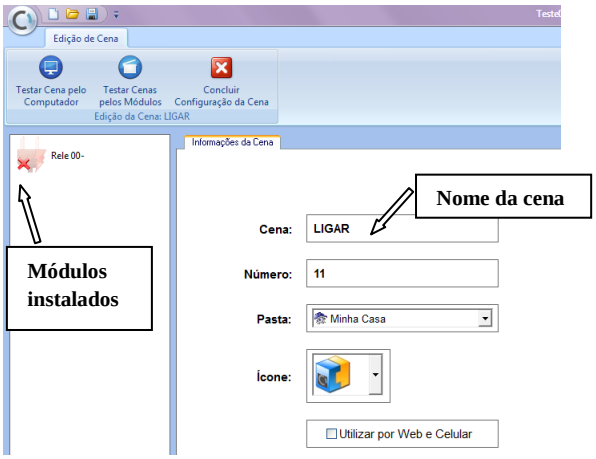


Figura A3 – Criação de cena(s) – edição de cena.

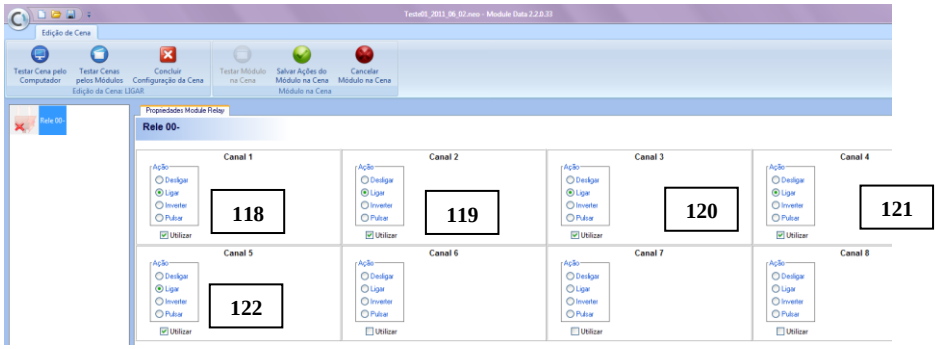
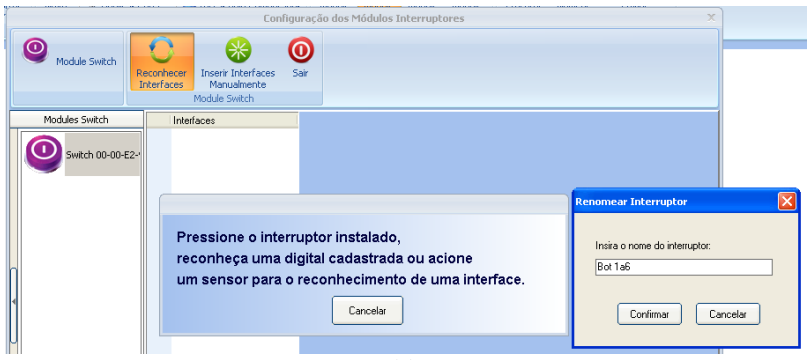


Figura A4 – Associação da cena aos canais do *relay 00* e o tipo de ação desejada.

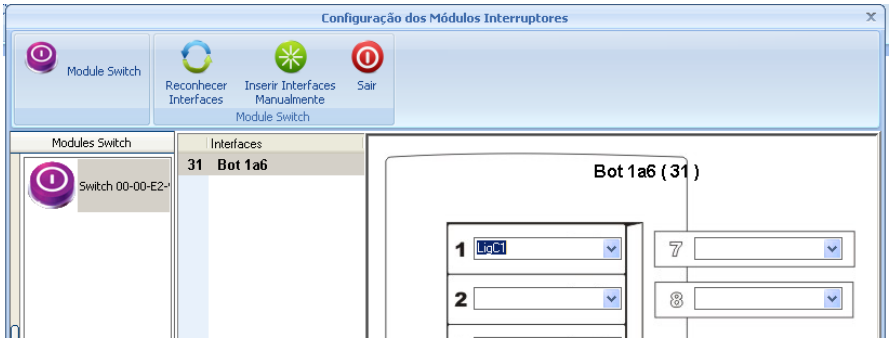
Na criação de cenas é preciso associar a ação desejada com a implementação física realizada nos módulos, por exemplo, no presente estudo as salas de aulas 118, 119, 120, 121 e 122 tiveram os contatores que acionam os condicionadores de ar ligados na saída dos canais 1, 2, 3, 4 e 5 do *relay 00*, respectivamente. Portanto, as saídas do modulo *relay* 00 serão encarregadas de ligar/desligar os condicionadores de ar. A criação de cena encerra-se com as opções – Salvar ações do Modulo na Cena e Concluir Configuração da Cena (janela Edição de Cena).

A ação de ligar ou desligar qualquer um dos canais de saída do modulo *relay 00* deve estar associada a algum evento, por exemplo, o acionamento de um pulsador, sensor digital ou uma tarefa pré-programada no modulo *task* (programador horário). Na programação para automatização dos condicionadores de ar fez-se uso de ambas as opções.

A programação do modulo *switch* requer os seguintes passos: escolher a opção – Modulo Switch; uma janela de Configuração dos Módulos Interruptores irá se abrir mostrando o(s) modulo(s) *switch(s)* instalados. Nessa janela há as opções: Reconhecer as Interfaces ou Inserir as Interfaces Manualmente. Para o reconhecimento automático, selecione um dos módulos *Switchs* instalados, sendo que o reconhecimento da interface pulsadora é realizado pressionando-se qualquer botoeira ligada ao modulo *switch* selecionado (figura A5.a). Na sequência, uma janela se abre para nomear a interface pulsadora, que irá automaticamente receber um endereço na faixa de 0 a 31. Ao selecionar a interface ou uma das interfaces identificada podem-se associar ações para cada uma das botoeiras (figura A5.b).



(a)



(b)

Figura A5 – Configuração dos Módulos Interruptores: a) Reconhecimento automático; b) Associar ação ao pulsador.

O agendamento de eventos, isto é, com datas e horários conhecidos é realizado através do módulo *task*. Ao inserir um agendamento, os seguintes dados são necessários: nome do agendamento, horário, dia da semana, dia do mês, mês e ano, associado a uma ação (cena).

Na implementação da automatização dos condicionadores de ar, esses eventos seguiram o cronograma de funcionamento das salas de aulas. A figura A6 mostra de forma compacta, a inserção de um agendamento associado a uma ação (cena) predefinida.

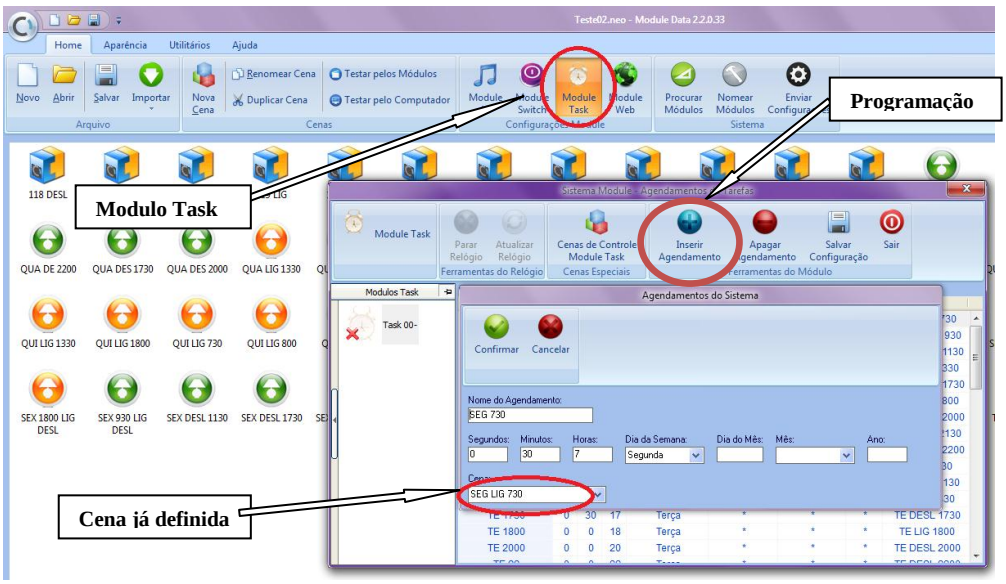


Figura A6 – Programação horária no módulo *task.*

De posse das cenas já criadas e programadas no horário pré-estabelecido é possível enviar as configurações aos módulos, o que é feito através da opção – Enviar configurações.

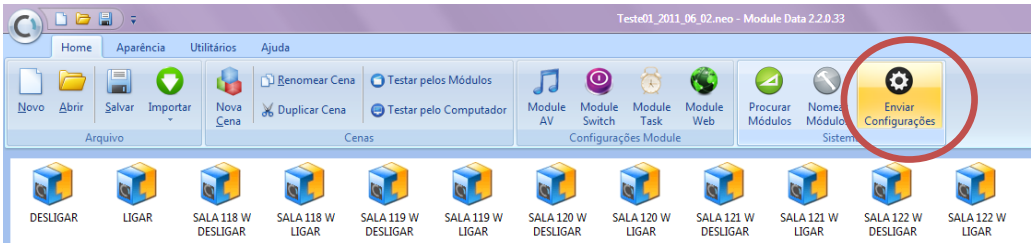
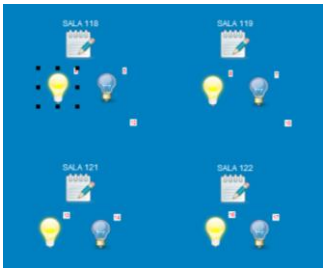


Figura A7 – Transferência da programação para os módulos.

Existe ainda a possibilidade de se realizar as ações, isto é, executar as cenas utilizando a *internet*, um computador ligado na mesma rede dos módulos ou celulares. Para tanto, faz-se necessário a criação destes botões de acionamentos no dispositivo escolhido (celular, etc.), ou seja, cria-se uma tela com botões (ícones) dedicados a cada ação, a qual se denomina criação *web design,* conforme figura A8.a. O desenvolvimento dessa interface necessita do *software NeoCScreen*.

Ao executar o programa *NeoCScreen* e escolher a opção – Novo Projeto, tem-se a janela mostrada na figura A.8.b – Definições do Projeto, cujas informações necessárias são: Nome do projeto, Descrição do projeto, arquivo de referência do módulo *NeoCData*, etc. As informações são importadas do arquivo de configuração de cenas criadas no *Neocdata* (Projeto de Origem Module Data). Deve-se escolher o dispositivo (celular, computador, *tablet*, etc.) e a resolução da tela, para elaborar o *design* da tela, na qual constam os botões de acionamento para comando a distância.



(a)

(b)

Figura A8 – Criação *Web Design*: a) tela de comandos; b) Janela do *software Neocscreen.*

Em seguida se faz a escolha da imagem de fundo da tela, que pode ser uma imagem ou apenas uma cor específica, conforme Figura A9.

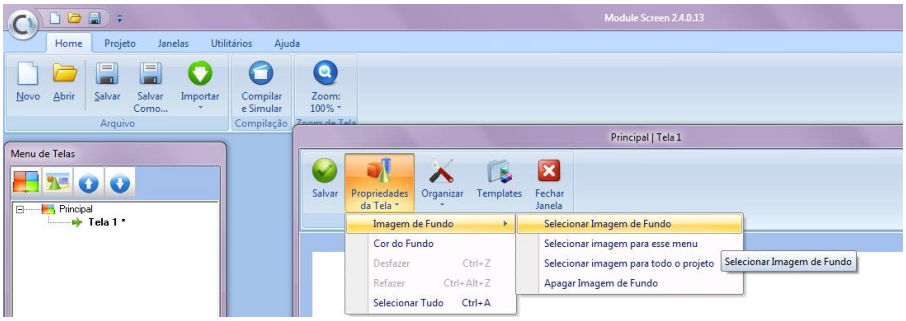


Figura A9 – Escolha do plano de fundo no *NeoCscreen.*

Após a escolha do plano de fundo, são inseridos os botões de acionamento, que podem conter texto, cores e imagens, cujas propriedades podem ser configuradas e personalizadas. As imagens atribuídas aos botões visam facilitar a identificação. Além disso, aos botões deve-se atribuir as ações desejadas (cenas), cujas configurações foram criadas no *NeoCdata*, conforme mostrado na figura A10.

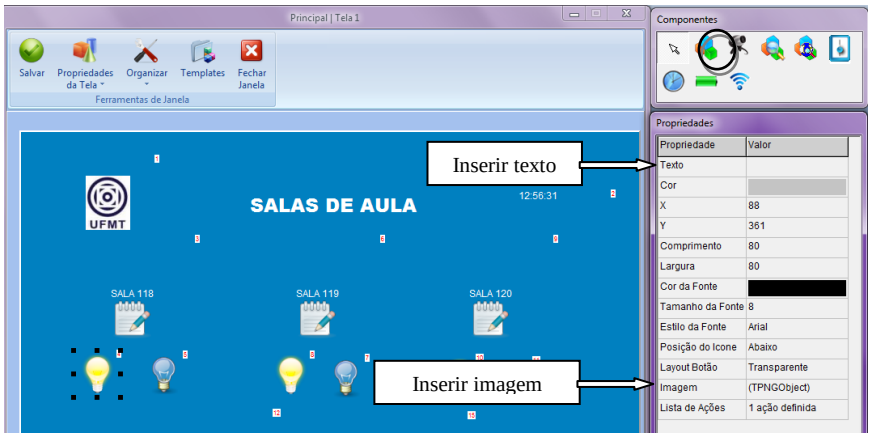


Figura A10 – Escolha dos botões no *NeoCscreen.*

Na opção lista de ações, é possível inserir uma nova tela ou uma cena existente no arquivo importado do *Neocdata*. Dentre as demais opções, é possível também inserir um temporizador, acionar um módulo individualmente, função do sistema como voltar à tela anterior ou ir para a próxima tela, tocar som ou funções variáveis (figura A11). Assim, cada botão terá uma ação determinada de acordo com a escolha nesta lista de ações.

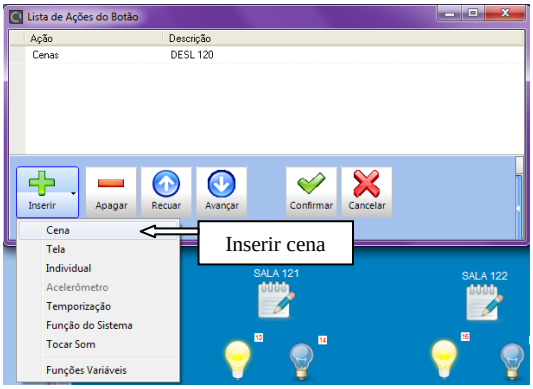


Figura A11 – Escolha de ações nos botões no *NeoCscreen.*

Nas demais opções existentes dos componentes é possível inserir uma câmera, um botão de *feedback,* inserir uma página da *web*, *slider,* relógio, medidor de bateria ou um botão de *wireless.*

Ao retornar a tela principal, na opção organizar é possível alinhar os botões de ações conforme as opções disponíveis, bem como os controles, grade na tela, limpar a imagem ou as ações de cada botão inserido (figura A12).

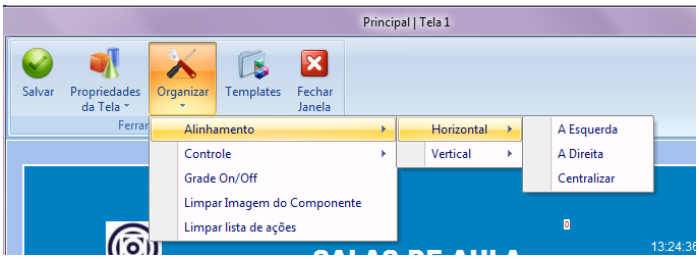


Figura A12 – Organizar botões no *NeoCscreen.*

Após a criação dos botões e suas respectivas ações, deve-se clicar em salvar a tela. Repetem-se os procedimentos para as demais telas de acionamentos que podem ser distribuídas de acordo com cada ambiente ou tipo de comando, como por exemplo, tela para acionamento de luzes, condicionadores de ar, som, televisão.

Ao criar todas as telas, aciona-se compilar e simular para que as cenas possam ser executadas através destes botões no *software UMPC.*

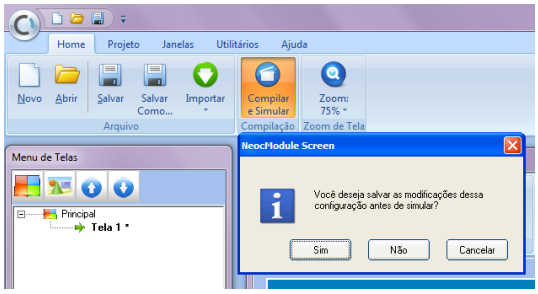


Figura A13 – Compilar e simular no *NeoCscreen.*

Para acionar as cenas e as telas criadas no *Neocscreen*, é necessário instalar o software *NeocUMPC* no computador ou no celular. Na pasta do *Neocscreen*, ao compilar é criada uma pasta denominada *output,* que deve ser copiada e colada dentro da pasta do *NeocUMPC*, para que assim se possam executar as telas criadas no software anterior (figura A14).

Figura A14– Acionamentos das cenas pela rede por meio do *NeoUMPC*.

Para acionamentos pela internet, é preciso a configuração do módulo *web* que é feita através de um *login* e senha que o fabricante cadastra em seu *site*. Após este cadastro, aciona-se o módulo *web* e realiza-se uma sincronização onde as cenas em que foram selecionadas para acioná-las pela *web* estarão disponíveis no *site*. A Figura A15 mostra como é realizada esta sincronização.

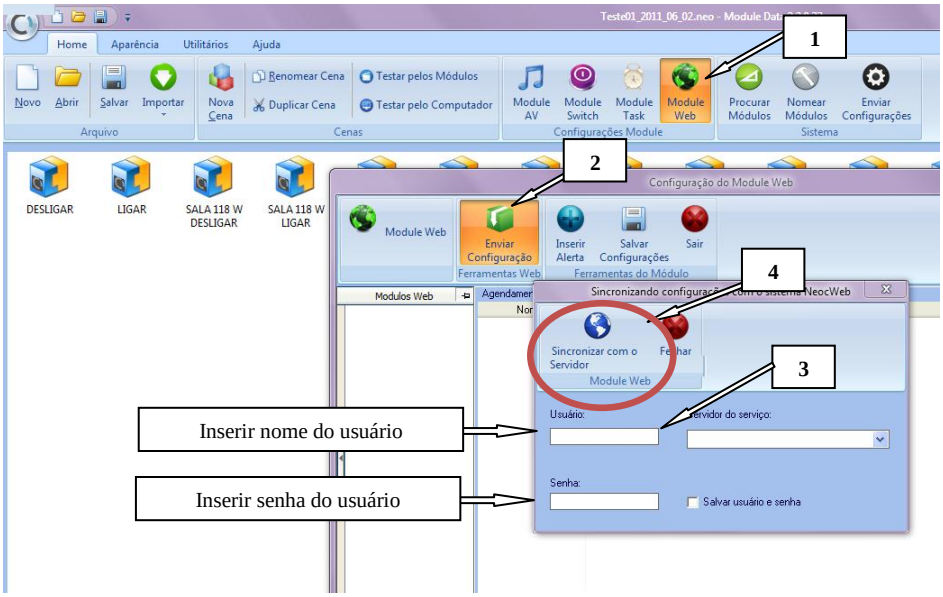


Figura A15– Envio da configuração para o módulo *web*.

Para a visualização das cenas pela internet, é necessário acessar o endereço IP do fabricante juntamente com o login e senha do usuário, através do endereço: *<http://www.neocontrol.com.br/web/login.php>*. O resultado da configuração é mostrado na Figura A16. Através deste endereço, é possível acionar as cenas de qualquer localização pela internet.

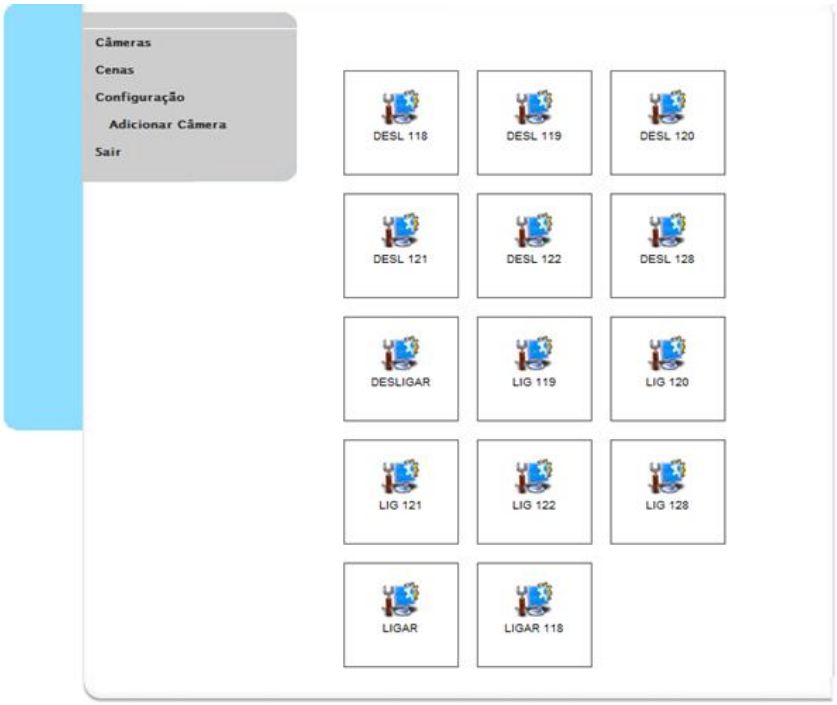


Figura A16– Resultado da configuração na Internet no site do fabricante.

APÊNDICE B

CÁLCULOS DA RESISTÊNCIA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DOS ELEMENTOS DA EDIFICAÇÃO

Na sequência são apresentados os cálculos para os diferentes elementos construtivos que compõem a edificação. Segue os valores de condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente considerada para os materiais:

B1) - Parede de tijolo cerâmico de 21 furos, com revestimento somente em uma face.

a) Resistência térmica total da parede - $R_{t(parede)}$:

O procedimento para o cálculo da resistência térmica da parede foi baseado na NBR 15220-2/2008. De acordo com o levantamento *in loco* tem se:

- Dimensões do tijolo= 11cm x 6cm x 24cm;
- Condutividade térmica (λ) cerâmica= 0,90 W/(m.K);
- Condutividade térmica (λ) argamassa = reboco= 1,15 W/(m.K);

A parede é constituída por:

Seção A: Reboco externo (2cm) e argamassa de assentamento (11cm);

Seção B: Reboco externo (2cm) e tijolo de cerâmica 21 furos.

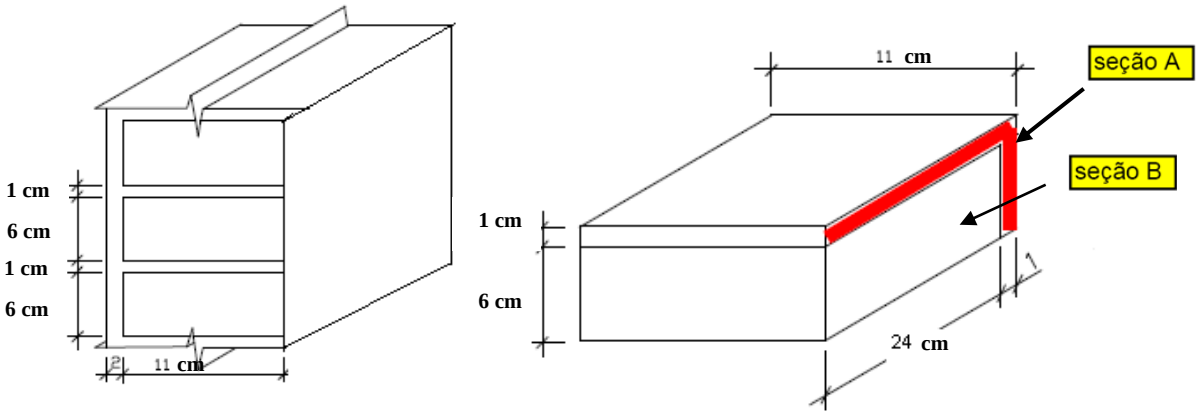


Figura B1– Vista em perspectiva e elemento isolado.
Fonte: Adaptada da NBR 15220-2 (2008).

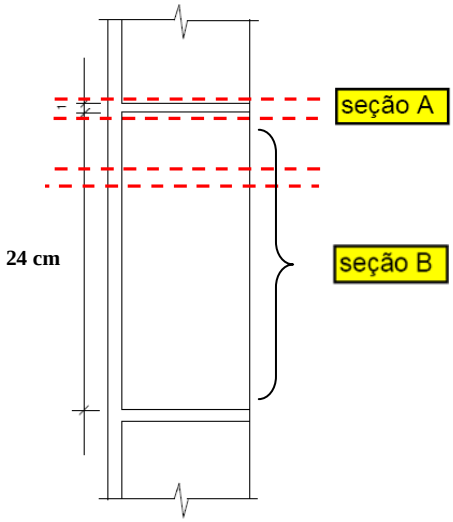


Figura B2– Vista superior
Fonte: Adaptada da NBR 15220-2 (2008).

A resistência térmica da parede:

$\epsilon = Espessura\ do\ elemento\ (m)$
$\lambda = Condutividade\ térmica\ (\frac{W}{m \cdot K})$

- Seção A (reboco+argamassa)

$A_a = 0{,}01 \times 0{,}24 + 0{,}01 \times 0{,}07 = 0{,}0031 m^2$

$R_a = \frac{\epsilon\ \text{reboco}}{\lambda\ \text{reboco}} + \frac{\epsilon\ \text{argamassa}}{\lambda\ \text{argamassa}} = \frac{0{,}02}{1{,}15} + \frac{0{,}11}{1{,}15}$

$R_a = 0{,}1130 (m^2.K)/W$

- Seção B (reboco+tijolo)

$A_b = 0{,}06 \times 0{,}24 = 0{,}0144 m^2$

$R_b = \frac{\epsilon\ \text{reboco}}{\lambda\ \text{reboco}} + \frac{\epsilon\ \text{cerâmica}}{\lambda\ \text{cerâmica}} = \frac{0{,}02}{1{,}15} + \frac{0{,}11}{0{,}90}$

$R_b = 0{,}1396 (m^2.K)/W$

Portanto, a resistência térmica da parede será:

$$R_{t(parede)} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0{,}0031 + 0{,}0144}{\frac{0{,}0031}{0{,}1130} + \frac{0{,}0144}{0{,}1396}} = 0{,}1340(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total (RT):

$$RT = R_{si} + R_{t(parede)} + R_{se}$$

Os valores de Rsi e Rse de resistência térmica superficial interna e externa foram retirados da tabela A1 da NBR 15220-2 (2008) destacada na Tabela B1. Considerando a direção do fluxo de calor horizontal, a resistência térmica da parede resulta em:

Tabela B1– Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} (m^2.K)/W			R_{se} (m^2.K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇨	⇧	⇩	⇨	⇧	⇩
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2 (2008).

$$RT = 0{,}13 + 0{,}1340 + 0{,}04 = 0{,}304\ (m^2.K)/W$$

$$RT = 0{,}30(m^2.K)/W$$

Convertendo a resistência térmica total (RT) em unidade de kcal/h:

$$\frac{0{,}30\ m^2.K}{W} \times \frac{1{,}163W}{1\ kcal/h} \quad \frac{°C}{K} = 0{,}3535\frac{m^2\ °C}{kcal/h}$$

b) Transmitância Térmica da parede:

Condutância= $\frac{1}{R} = \frac{1}{0{,}3535\frac{m^2\ °C}{kcal/h}}$; Condutância total da Parede = $2{,}83\ \frac{kcal/h}{m^2\ °C} \therefore 3{,}29\frac{W}{m^2.K}$

B2) - Paredes duplas de tijolos cerâmicos de 21 furos, com revestimento somente em uma face.

a) Resistência térmica total da parede (RT):

tem se:

- Dimensões do tijolo= 11cm x 6cm x 24cm;
- Condutividade térmica (λ) cerâmica= 0,90 W/(m.K);
- Condutividade térmica (λ) argamassa= λ reboco= 1,15 W/(m.K);

A parede é constituída por:

Seção A: Reboco externo (2cm), argamassa de assentamento (11cm), Reboco (1cm), argamassa de assentamento (11cm);

Seção B: Reboco externo (2cm), tijolo de cerâmica 21 furos, Reboco (1cm), tijolo de cerâmica 21 furos.

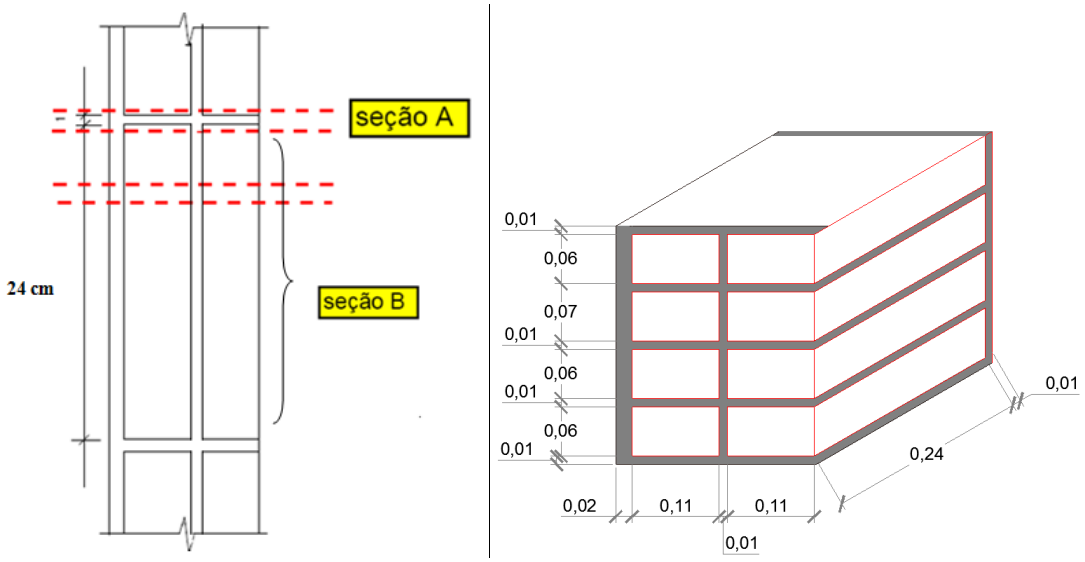


Figura B3– Vista superior e perspectiva da parede dupla
Fonte: Adaptada da NBR 15220-2 (2008).

A resistência térmica da parede:

- Seção A (reboco+argamassa+reboco)

$$A_a = 0{,}01 \times 0{,}24 + 0{,}01 \times 0{,}07 = 0{,}0031 m^2$$

$\epsilon = Espessura\ do\ elemento\ (m)$

$\lambda = Condutividade\ térmica\ (\frac{W}{m \cdot K})$

$$R_a = \frac{\epsilon \text{ reboco}}{\lambda \text{ reboco}} + \frac{\epsilon \text{ argamassa}}{\lambda \text{ argamassa}} + \frac{\epsilon \text{ reboco}}{\lambda \text{ reboco}} + \frac{\epsilon \text{ argamassa}}{\lambda \text{ argamassa}}$$

$$R_a = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,11}{1,15} + \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,11}{1,15} = 0,2174(m^2.K)/W$$

- Seção B (reboco+tijolo+argamassa+tijolo)

$$A_b = 0,06 \times 0,24 = 0,0144\ m^2$$

$$R_b = \frac{\epsilon \text{ reboco}}{\lambda \text{ reboco}} + \frac{\epsilon \text{ cerâmica}}{\lambda \text{ cerâmica}} + \frac{\epsilon \text{ argamassa}}{\lambda \text{ argamassa}} + \frac{\epsilon \text{ cerâmica}}{\lambda \text{ cerâmica}}$$

$$R_b = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,11}{0,90} + \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,11}{0,90}$$

$$R_b = 0,2705(m^2.K)/W$$

Portanto, a resistência térmica da parede será:

$$R_{t(parede)} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0031 + 0,0144}{\frac{0,0031}{0,2174} + \frac{0,0144}{0,2705}} = 0,2593(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total (RT):

$$RT = R_{si} + R_{t(parede)} + R_{se} \text{ (consultar tabela B1)}$$

Assim:

$$RT = 0,13 + 0,2593 + 0,04 = 0,429(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total= $0,429\frac{m^2.K}{W} \therefore 0,4989\frac{m^2\,°C}{kcal/h}$

b) Transmitância Térmica da parede:

Condutância total da Parede = $2,00\frac{kcal/h}{m^2\,°C} \therefore 2,33\frac{W}{m^2.K}$

B3) Divisórias de madeira (0,008m):

a) Resistência térmica total da divisória $R_{t(divisória)}$:

Para o cálculo do coeficiente de transmissão de calor, as divisórias de madeiras localizadas nas salas 118 e 119, têm-se:

- Condutividade térmica do Compensado (λ): 0,15 W/(m.K)

Assim:

$$R_{t(divisória)} = \frac{\epsilon\ madeira}{\lambda\ madeira} = \frac{0{,}008}{0{,}15} = 0{,}0533(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total (RT):

$$RT = R_{si} + R_{t(divisória)} + R_{si}\ \text{(consultar tabela B1)}$$

$$\mathrm{R_T} = 0{,}13 + 0{,}0533 + 0{,}13 = 0{,}3133(m^2.K)/W$$

Assim:

Resistência térmica total= $0{,}3133\frac{m^2.K}{W} \therefore 0{,}3643\frac{m^2\,°C}{kcal/h}$

b) Transmitância térmica da divisória:

Condutância total da divisória = $2{,}74\frac{kcal/h}{m^2\,°C} \therefore 3{,}19\frac{W}{m^2.K}$

B4 Viga de concreto (0,15m)

a) Resistência térmica total da viga de concreto (RT):

- Condutividade térmica do concreto (λ): 1,75 W/(m.K)

Assim:

$$R_{t(viga)} = \frac{\epsilon\ concreto}{\lambda\ concreto} = \frac{0{,}15}{1{,}75} = 0{,}0857(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total (RT):

$$RT = R_{si} + R_{t(viga)} + R_{se}\ \text{(consultar tabela B1)}$$

Assim:

$$RT = 0{,}13 + 0{,}0857 + 0{,}04 = 0{,}2557(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total= $0{,}2557\frac{m^2.K}{W} \therefore 0{,}2973\frac{m^2\,°C}{kcal/h}$

b) Transmitância Térmica da viga de concreto:

Condutância total da viga de concreto = $3{,}36\,\frac{kcal/h}{m^2\,°C} \therefore 3{,}91\,\frac{W}{m^2.K}$

B5) Laje de piso

a) Resistência térmica total da Laje de piso (RT):

- Condutividade térmica do concreto (λ)= 1,75 W/(m.K);
- Condutividade térmica (λ) argamassa = 1,15 W/(m.K);
- Condutividade térmica (λ) piso cerâmico= 0,90 W/(m.K);

Assim:

$$R_{t(laje\ piso)} = \frac{\epsilon\ cerâmica}{\lambda\ cerâmica} + \frac{\epsilon\ argamassa}{\lambda\ argamassa} + \frac{\epsilon\ concreto}{\lambda\ concreto}$$

$$R_{t(laje\ piso)} = \frac{0{,}05}{0{,}90} + \frac{0{,}025}{1{,}15} + \frac{0{,}15}{1{,}75} = 0{,}1629(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total (RT):

$$RT = R_{si} + R_{t(laje\ piso)} + R_{si}\ \text{(consultar tabela B1)}$$

Assim:

$$RT = 0{,}17 + 0{,}1629 + 0{,}17 = 0{,}5029(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total= $0{,}5029\,\frac{m^2.K}{W} \therefore 0{,}5848\,\frac{m^2\,°C}{kcal/h}$

b) Transmitância Térmica da laje de piso:

Condutância total da laje de piso = $1{,}71\,\frac{kcal/h}{m^2\,°C} \therefore 1{,}98\,\frac{W}{m^2.K}$

B6) Laje de concreto (0,20m)

a) Resistência térmica total da Laje (RT):

- Condutividade térmica do concreto (λ)= 1,75 W/(m.K);

$$R_{t(laje\ piso)} = \frac{\epsilon\ concreto}{\lambda\ concreto} = \frac{0{,}20}{1{,}75} = 0{,}1143(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total (RT):

$$RT = R_{si} + R_{t(laje\ )} + R_s \text{ (consultar tabela B1)}$$

Assim:

$$RT = 0{,}17 + 0{,}1143 + 0{,}04$$

$$RT = 0{,}3243(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total= $0{,}3243\frac{m^2.K}{W} \therefore 0{,}3771\frac{m^2\,°C}{kcal/h}$

b) Transmitância Térmica da laje de piso:

Condutância total da laje = $2{,}65\frac{kcal/h}{m^2\,°C} \therefore 3{,}08\frac{W}{m^2.K}$

B7) Cobertura composta de laje de concreto (0,20m) e cobertura de telha de fibrocimento (0,008m).

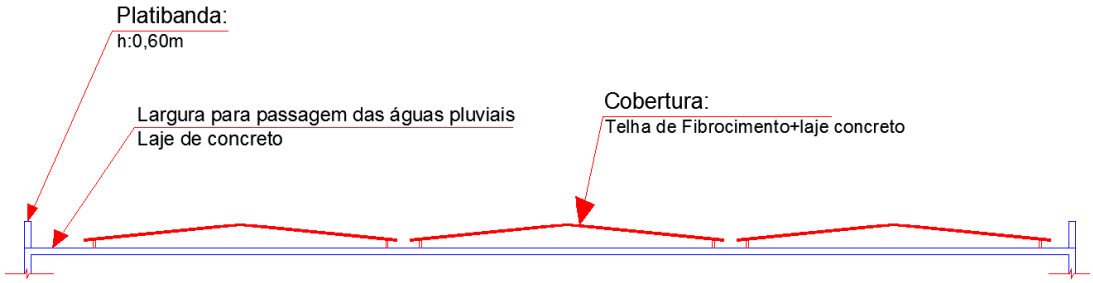


Figura B4– Corte esquemático da cobertura

a) Resistência térmica total da cobertura $R_{t(cobertura)}$):

- Condutividade térmica do concreto (λ)= 1,75 W/(m.K);
- Condutividade térmica (λ) telha de fibrocimento = 0,95W/(m.K);

- Comprimento do telhado: 16,00
- Abertura ventilação: 5 cm por 16,00m

$S = 2 \times (1600 \times 5) = 16000$ cm²

$A = 7 \times 16 = 112$ m²

$$\frac{S}{A} = \frac{16000}{112}$$

$\frac{S}{A} = 142{,}85\ cm^2/m^2$ de acordo com a Tabela B2, muito ventilada.

Tabela B2– Condições de ventilação para as câmaras de ar.

Posição da câmara de ar	Câmara de ar	
	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	S/L < 500	S/L ≥ 500
Horizontal (coberturas)	S/A < 30	S/A ≥ 30
Onde: S é a área total de abertura de ventilação, em cm²; L é o comprimento da parede, em m; A é a área da cobertura.		

Fonte: Adaptada da NBR 15220-2 (2008).

No verão, Rar = 0,21 (m².K)/W

$$R_{t(cobertura)} = \frac{\epsilon\ fibrocimento}{\lambda\ fibrocimento} + R_{ar} + \frac{\epsilon\ concreto}{\lambda\ concreto}$$

$$R_{t(cobertura)} = \frac{0{,}008}{0{,}95} + 0{,}21 + \frac{0{,}20}{1{,}75} = 0{,}3027(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total (RT):

$$RT = R_{si} + R_{t(cobertura)} + R_{se}\ \text{(consultar tabela B1)}$$

Assim:

$$RT = 0{,}17 + 0{,}3027 + 0{,}04 = 0{,}5127(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total= $0{,}5127\frac{m^2.K}{W} \therefore 0{,}5962\frac{m^2\,°C}{kcal/h}$

b) Transmitância Térmica da Cobertura:

Condutância total da cobertura = $1{,}68\frac{kcal/h}{m^2\,°C} \therefore 1{,}95\frac{w}{m^2.K}$

B8) Cobertura composta de forro de PVC (7mm) e telha de fibrocimento.

a) Resistência térmica total da Cobertura (RT):

Nas salas 115, 116 e 117 trata-se de uma ampliação do prédio, não possuem dois pavimentos, sua cobertura é composta por:

- Condutividade térmica do forro de PVC (λ)= 0,20W/(m.K);
- Condutividade térmica (λ) telha de fibrocimento = 0,95 W/(m.K);
- Comprimento do telhado: 27,10 m
- Abertura ventilação: 5 cm por 27,10m

$S = 2 \times (2710 \times 5) = 27100$ cm²

$A = 9{,}85 \times 2710 = 26693{,}5$ m²

$$\frac{S}{A} = \frac{27100}{26693{,}5}$$

$\frac{S}{A} = 1{,}01$ cm²/m² de acordo com a Tabela B2, muito ventilada.

No verão, Rar: 0,21 (m².K)/W

$$R_{t(cobertura)} = \frac{\epsilon\ fibrocimento}{\lambda\ fibrocimento} + R_{ar} + \frac{\epsilon\ forro\ de\ PVC}{\lambda\ forro\ de\ PVC}$$

$$R_{t(cobertura)} = \frac{0{,}008}{0{,}95} + 0{,}21 + \frac{0{,}007}{0{,}20} = 0{,}2534(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total (RT):

$$R_{T(total)} = R_{si} + R_{t(cobertura)} + R_{se}\ \text{(consultar tabela B1)}$$

Assim:

$$R_T = 0{,}17 + 0{,}2534 + 0{,}04 = 0{,}4634(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total= $0{,}4634\frac{m^2.K}{W} \therefore 0{,}5389\frac{m^2\,°C}{kcal/h}$

b) Transmitância Térmica da Cobertura com forro de PVC:

Condutância total da cobertura com forro de PVC = $1{,}85\frac{kcal/h}{m^2\,°C} \therefore 2{,}15\frac{W}{m^2.K}$

B9) Vidro Comum (0,004m)

a) Resistência térmica total (RT):

- Condutividade térmica do vidro comum (λ): 1,0 W/(m.K)

Assim:

$$R_{t(vidro)} = \frac{\epsilon\ vidro}{\lambda\ vidro} = \frac{0{,}004}{1{,}0} = 0{,}004(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total (RT):

$$RT = R_{si} + R_{t(vidro)} + R_{se}\ \text{(consultar tabela B1)}$$

Assim:

$$\mathrm{R_T} = 0{,}13 + 0{,}004 + 0{,}04 = 0{,}174(m^2.K)/W$$

Resistência térmica total= $0{,}174\frac{m^2.K}{W} \therefore 0{,}2023\frac{m^2\,°C}{kcal/h}$

a) Transmitância Térmica:

Condutância total do vidro = $4{,}94\frac{kcal/h}{m^2\,°C} \therefore 5{,}74\frac{m^2.K}{W}$

A Tabela B3 mostra os resultados da condutância total definida para cada material.

Tabela B3– Propriedades térmicas dos materiais.

Materiais	Condutância Térmica	Transmitância Térmica
Parede: Cerâmica + reboco	2,83 kcal/h / m². °C	3,29 W/(m².K)
Parede dupla: cerâmica+cerâmica+ reboco	2,00 kcal/h / m². °C	2,33 W/(m².K)
Superfícies transparentes: vidro	4,94 kcal/h / m². °C	5,74 W/(m².K)
Divisórias em madeira	2,74kcal/h / m². °C	3,19 W/(m².K)
Viga de concreto	3,36kcal/h / m². °C	3,91 W/(m².K)
Laje de Concreto	2,65kcal/h / m². °C	3,08 W/(m².K)
Laje de piso: piso cêramica+argamassa+concreto	1,71kcal/h / m². °C	1,98 W/(m².K)
Cobertura: Laje + Fibrocimento	1,68 kcal/h / m². °C	1,95 W/(m².K)
Cobertura: PVC + Fibrocimento	1,85 kcal/h / m². °C	2,15 W/(m².K)

APÊNDICE C

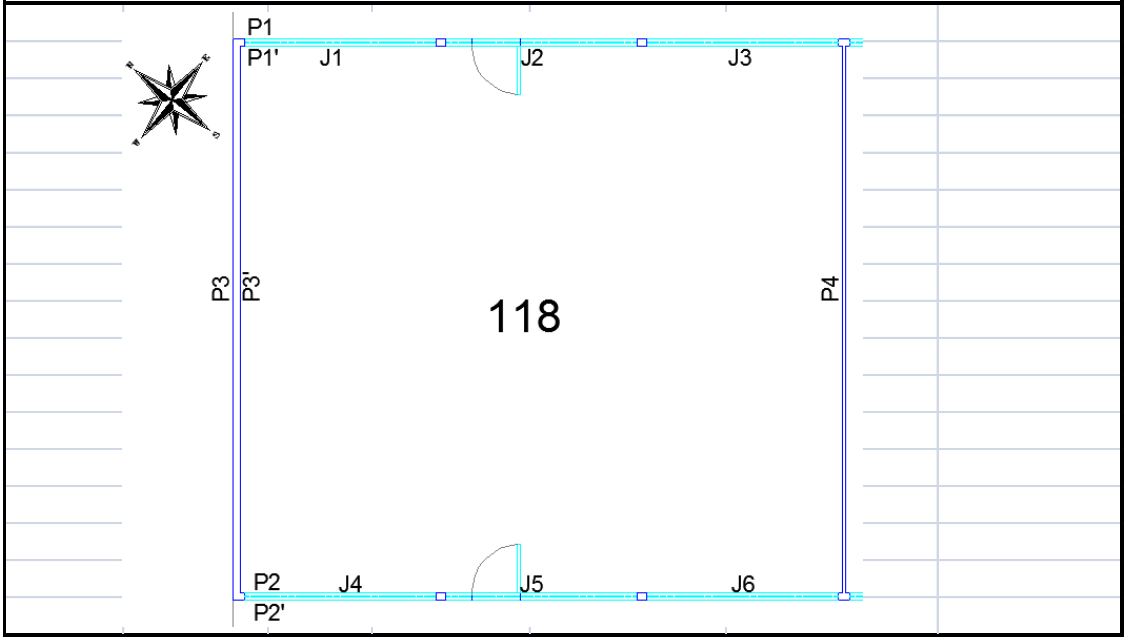
CÁLCULOS DA CARGA TÉRMICA - MÉTODOS PRESCRITIVOS

C1) NEGRISOLI (1987)

Levando em consideração o procedimento de cálculo do método de Negrisoli (1987), nas Tabelas C1e C2 se resume os principais itens para o cálculo da carga térmica realizado na sala 118.

Tabela C1– Carga devido ao Volume e Janelas (Negrisoli,1987).

SALA 118 - PAVIMENTO TÉRREO



Volume						
Dimensões			Volume (m³) (V)	*Sob Telhados (B)	V x B	
Larg.	Comp.	Alt.			Kcal/h	BTU/h
10,85	11,97	2,82	366,25	22,33	8.178,28	32.459,57
*Fator para carga térmica em função do volume do recinto.						

Janelas						
Janelas			Área (m²) (A)	**Janelas com vidro na sombra (J)	A x J	
	Larg.	Comp.			Kcal/h	BTU/h
J1	1,60	3,80	6,08	37,00	224,96	892,87
J2	1,60	3,80	6,08	37,00	224,96	892,87
J3	1,60	3,80	6,08	37,00	224,96	892,87
J4	1,60	3,80	6,08	37,00	224,96	892,87
J5	1,60	3,80	6,08	37,00	224,96	892,87
J6	1,60	3,80	6,08	37,00	224,96	892,87
**Fator para a carga térmica em função da área das janelas					1.349,76	5.357,20

Tabela C2– Áreas livres, pessoas e iluminação (Negrisoli,1987).

Áreas Livres***						
Frestas			Área livre(m²) (A)	Fator (B)	A x B	
	Larg.	Comp.			Kcal/h	BTU/h
Porta	0,02	1,80	0,04	125,00	5	17,86
***Frestas (m²)						
Pessoas						
Número de Pessoas				Fator (B)	N x B	
			(N)		Kcal/h	BTU/h
			39,00	125,00	4.875,00	19.348,88
Iluminação						
Quant. (A)	Potência do Conjunto(W) (B)		Fator (D)	E = B X D	A x E	
					Kcal/h	BTU/h
20	70		0,9	63	1.260,00	5.000,94
RESUMO						
Tipo de carga					Kcal/h	BTU/h
Volume do recinto					8.178,28	32.459,57
Área das Janelas					1.349,76	5.357,20
Áreas Livres / Frestas					4,50	17,86
Pessoas					4.875,00	19.348,88
Iluminação					1.260,00	5.000,94
Total da Carga Térmica>>>					**15.667,54**	**62.184,45**

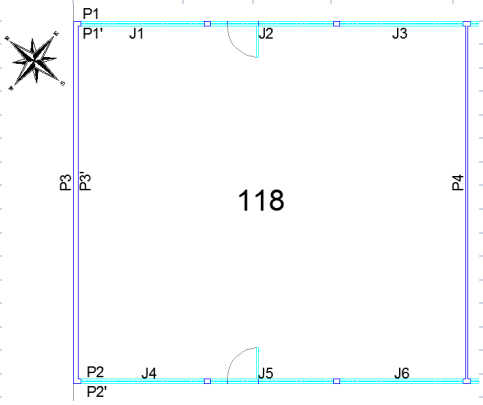
C2) CREDER (2004b).

As Tabelas C3, C4, C5 e C6 apresentam os procedimentos para o cálculo da carga térmica deste método. Os dados contidos no exemplo referem-se a sala 118, uma das salas sob estudo.

Tabela C3: Carga de condução

SALA 118 - PAVIMENTO SUPERIOR

Dados:	Paredes duplas, compostas de tijolos cerâmicos de 21 Furos (11 x 6 x 24cm), com reboco apenas de um lado, possuem no total 26cm de espessura	
C	Condutância Térmica da Parede: Cerâmica + reboco	2,83 kcal/h / m². °C
	Condutância Térmica da Parede dupla: cerâmica+cerâmica+ reboco	2,00 kcal/h / m². °C
	Condutância Térmica das superfícies transparentes:	4,94 kcal/h / m². °C
	Condutância Térmica das divisórias em madeira	2,74kcal/h / m². °C
	Condutância Térmica da viga de concreto	3,36kcal/h / m². °C
	Condutância Térmica da laje de piso	1,71kcal/h / m². °C
	Condutância do teto:	1,68 kcal/h / m². °C



A = área m² | C = Condutância do material (kcal/h / m². °C) | DT=Diferencial de Temperatura entre as superfícies em°C

Carga de condução (Q sensível)

Paredes externas(mxm)			Área das Paredes(m²)	Área das janelas (m²)		Paredes -janelas (m²) = A	A	C	DT	Q=A x C x DT	
	Altura	Comp.								Kcal/h	BTU/h
P1	2,50	11,97	29,93	J1+J2+J3	18,24	P1 - (J1+J2+J3)	11,69	2	9,4	219,68	871,90
P2	2,50	11,97	29,93	J3+J4+J5	18,24	P2 - (J4+J5+J6)	11,69	2	9,4	219,68	871,90
P1'	0,32	11,97	3,83				3,83	3,36	9,4	120,98	480,17
P2'	0,32	11,97	3,83				3,83	3,36	9,4	120,98	480,17
P3	2,50	10,85	27,13				27,13	2,83	9,4	721,58	2.863,95
P3'	0,32	10,85	3,47				3,47	3,36	9,4	109,66	435,24
										1.512,55	6.003,33

Tabela C4: Carga de condução

Janelas com vidro (m²)			Área (m²)				A	C	DT	Q=A x C x DT	
	Altura	Comp.	(A)							Kcal/h	BTU/h
J1	1,60	3,80	6,08				6,08	4,93	9,4	281,76	1.118,30
J2	1,60	3,80	6,08				6,08	4,93	9,4	281,76	1.118,30
J3	1,60	3,80	6,08				6,08	4,93	9,4	281,76	1.118,30
J4	1,60	3,80	6,08				6,08	4,93	9,4	281,76	1.118,30
J5	1,60	3,80	6,08				6,08	4,93	9,4	281,76	1.118,30
J6	1,60	3,80	6,08				6,08	4,93	9,4	281,76	1.118,30
										1.690,56	6.709,82
Paredes divisórias (mxm)				Área das janelas		Paredes -janelas (m²)		C	DT	Q=A x C x DT	
	Altura	Comp.					A			Kcal/h	BTU/h
P4	2,82	10,85	30,60				30,60	2,74	5,50	461,10	1.830,09
										461,10	1.830,09
Piso (m²)			Área (m²)								
	Larg.	Comp.									
	10,85	11,97	129,8745				129,87	1,71	5,50	1.221,47	4.848,01
Teto (m²)			Área (m²)								
	Larg.	Comp.									
	10,85	11,97	129,8745				129,87	1,68	9,4	2.050,98	8.140,33
Total parcial>>>										**6.936,65**	**27.531,58**
DT=Acrescimo ao diferencial de Temperatura (TABELA 7)											
P1 e P2 = Paredes duplas, com altura de 0,90 m (peitoril)											
P1' P2' P3' e P4'= Vigas de concreto, com altura de 0,32 m											

Tabela C5: Carga de insolação

Carga de insolação(Q sensível)									
Transmissão de Calor do Sol através de superfícies transparentes (vidros)									
Janelas com vidro (m²)			Área (m²)	SW*	Coeficiente de ajuste		Q**	Q = (área da janela x fator solar)x (coef.proteção) x (metálicas)	
	Larg.	Comp.			com proteção	Metálicas		Kcal/h	BTU/h
J4	1,60	3,80	6,08	636	0,15	1,15	667,04	667,04	2.647,47
J5	1,60	3,80	6,08	636	0,15	1,15	667,04	667,04	2.647,47
J6	1,60	3,80	6,08	636	0,15	1,15	667,04	667,04	2.647,47
								2.001,11	7.942,41
Total parcial>>>									
*Valor máximo de Fator Solar referente a 22 de dezembro (verão). TABELA 6									
Transmissão de Calor do Sol através de superfícies Opacas									
Área das Paredes		Área das janelas e portas		Paredes -janelas (m²)		U	te - ti	Δt	Q	Q = A.U[(Te-Ti)+Δt]	
					A			Clara W		Kcal/h	BTU
P2	29,93	J3+J4+J5	18,24	P2 - (J3+J4+J5)	11,69	2,00	9,40	5,50	348,36	348,36	1.382,65
P2'	3,83				3,83	3,36	9,40	5,50	191,75	191,75	761,04
										540,11	2.143,69
Telhado (m²)		Área (m²)		Área (m²)		U	te - ti	Δt	Q	Q = A.U[(Te-Ti)+Δt]	
Larg.	Comp.				A			Clara W		Kcal/h	BTU
10,85	11,97	129,87			129,87	1,68	9,40	8,30	3.861,95	3.861,95	15.328,07
U = Coeficiente Global de transmissão de calor (kcal/h.m².°C)											
Δt=Acrescimo ao diferencial de Temperatura (TABELA 7)											
te - ti = temperatura interna-temperatura externa											
Total parcial>>>										**6.403,17**	**25.414,16**

Os valores de *te* e *ti* (temperatura externa e interna) foram retirados da tabela que o método oferece cujos valores são: $t_e - t_i = 9{,}4°C$ para paredes externas, e $t_e - t_i = 5{,}5°C$ para paredes internas (divisórias).

Tabela C6: Carga devido a pessoas, iluminação, frestas e ventilação

Carga das Pessoas											
Nº pessoas (NP)	Temp.°C	Pessoa sentada				Calor sensível		Calor Latente		CS + CL	
		C.sensível (CS)	C.latente (CL)			NP x CS		NP x CL		Kcal/h	BTU/h
39,00	25,00	62,00	38,10			2.418,00		1.485,90		3.903,90	15.494,58
Total parcial>>>										**3.903,90**	**15.494,58**
Carga Térmica devido à Iluminação											
										(P total) * 0,86 *0,7	
Quant.	W	P.Total	Fator							Kcal/h	BTU/h
20,00	70,00	1.400,00	0,86	0,70						842,80	3.345,07
Total parcial>>>										**842,80**	**3.345,07**
Carga Térmica devido à Infiltração - Frestas											
Porta (M)			Total Q	qs = Q x 0,29 (te-ti)		C = (UE2 - UE1). y . Q			ql = 583 x C	Total	
Constante		Comprimento linear da porta		te-ti	qs	UE2 - UE1	y	C	ql	Kcal/h	BTU/h
6,50		1,80	11,70	9,40	31,89	0,01	1,20	0,14	81,85	81,85	324,88
Janela Basculante(M)											
Constante		Comprimento Linear da									
3		15,2	45,60	9,40	124,31	0,01	1,20	0,55	319,02	319,02	1.266,18
qs= Calor sensível, Kcal/h;											
ql= Calor latente, Kcal/h;											
UE2/UE1 = Umidade específica do ar Kg/Kg).											
y = Peso específico do ar, kg/m³.											
Total parcial>>>										**400,87**	**1.591,06**
Carga Térmica devido à Ventilação											
Nº pessoas	m³/h pessoa		Total Q	Calor Sensível qs = Q x 0,29 (te-ti)		C = (UE2 - UE1)Xy x Q		Calor Latente ql = 583 x C		Total	
				te-ti	qs	UE2 - UE1	1,2	C	ql	Kcal/h	BTU/h
39	40		1560	9,4	4252,56	0,01	1,20	18,72	10.913,76	10.913,76	43.316,71
Total parcial>>>										**10.913,76**	**43.316,71**

O presente método apresenta em seu procedimento de cálculo tabelas que fazem referência a NB 10/1978, de modo que os seus procedimentos de cálculos são os que mais se assemelham à norma NBR 16401/2008.

A Tabela C7 mostra o total de todas as cargas da sala 118.

Tabela C7: Total das cargas

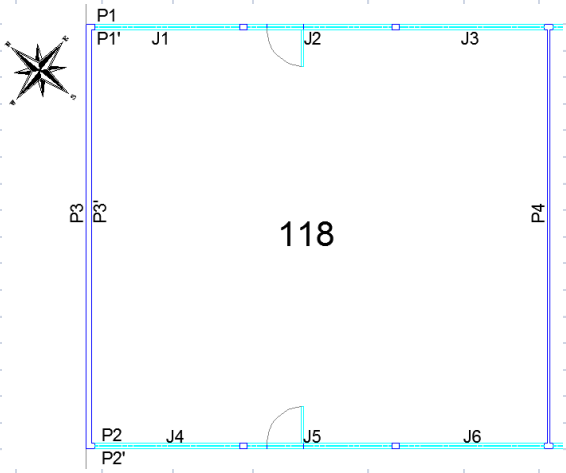
RESUMO		
Tipo de carga	Kcal/h	BTU
Condução	6.936,65	27.531,58
Insolação	6.403,17	25.414,16
Pessoas	3.903,90	15.494,58
Equipamentos	842,80	3.345,07
Infiltração - Frestas	400,87	1.591,06
Ventilação	10.913,76	43.316,71
Total da Carga Térmica>>>	**29.401,15**	**116.693,17**

C3) NBR 16401/2008

As Tabelas C8, C9, C10, C11 e C12 apresentam os procedimentos para o cálculo da carga térmica deste método. Os dados contidos no exemplo referem-se a sala 118, uma das salas sob estudo.

Tabela C8: Carga por condução, NBR 16401 (2008).

MÉTODO NBR 16401/2008		
SALA 118 - PAVIMENTO TÉRREO		
Dados:	Paredes duplas, compostas de tijolos cerâmicos de 21 Furos (11 x 6 x 24cm), com reboco apenas de um lado, possuem no total 26cm de espessura	
C	Condutância Térmica da Parede: Tijolo + reboco	3,29 W/(m².K)
	Condutância Térmica da Parede dupla: tijolo+tijolo+ reboco	2,28 W/(m².K)
	Condutância Térmica das superfícies transparentes:	5,74 W/(m².K)
	Condutância Térmica das divisórias em madeira	3,19 W/(m².K)
	Condutância Térmica da viga de concreto	3,91 W/(m².K)
	Condutância Térmica da laje de piso	1,98 W/(m².K)
	Condutância do teto:	1,95 W/(m².K)



Carga de condução (Q sensível)

Qfo = qfo x Afo

qfo = U x ΔT

PAREDES

Paredes externas(mxm)			Área (m²) (A)	Área das janelas (m²) (J)		Paredes-janelas (m²)	Afo = A-J	U	ΔT	qfo= U x ΔT (W/m²)	Qfo = qfo x Afo	
	Altura	Comp.									W	BTU/h
P1	2,50	11,97	29,93	J1+J2+J3	18,24	P1 - (J1+J2+J3)	11,69	2,28	9,4	21,432	250,43	854,50
P2	2,50	11,97	29,93	J3+J4+J5	18,24	P2 - (J4+J5+J6)	29,93	2,28	9,4	21,432	641,35	2.188,36
P1'	0,32	11,97	3,83				3,83	3,29	9,4	30,926	118,46	404,19
P2'	0,32	11,97	3,83				3,83	3,91	9,4	36,754	140,78	480,36
P3	2,50	10,85	27,13				27,13	3,29	9,4	30,926	838,87	2.862,30
P3'	0,32	10,85	3,47				3,47	3,91	9,4	36,754	127,61	435,42
											2.117,50	7.225,14

Tabela C9: Carga por condução, NBR 16401 (2008).

Paredes divisórias (mxm)				Área das janelas		Paredes-janelas (m²)		U	ΔT	qfo= U x ΔT (W/m²)	Qfo = qfo x Afo	
	Altura	Comp.									W	BTU
P4	2,82	10,85	30,60				30,60	3,19	5,50	17,545	536,82	1.831,70
Piso (m²)												
	Larg.	Comp.										
	10,85	11,97	129,8745				129,87	1,98	5,50	10,89	1.414,33	4.825,85
Teto (m²)												
	Larg.	Comp.										
	10,85	11,97	129,87				129,87	1,95	9,40	18,33	2.380,60	8.122,84
											4.331,76	14.780,39
VIDROS												
QA= qA x AA												
qA = U x ΔT												
Janelas com vidro (m²)			Área (m²)					U	ΔT	qA= U x Δt	QA= qA x AA	
	Altura	Comp.	(AA)								W	BTU/h
J1	1,60	3,80	6,08					5,74	9,4	53,956	328,05	1.119,35
J2	1,60	3,80	6,08					5,74	9,4	53,956	328,05	1.119,35
J3	1,60	3,80	6,08					5,74	9,4	53,956	328,05	1.119,35
J4	1,60	3,80	6,08					5,74	9,4	53,956	328,05	1.119,35
J5	1,60	3,80	6,08					5,74	9,4	53,956	328,05	1.119,35
J6	1,60	3,80	6,08					5,74	9,4	53,956	328,05	1.119,35
											1.968,31	6.716,09
Total parcial>>>											**8.417,58**	**28.721,61**
U = Condutância Térmica dos materiais, W/m².K												
ΔT=Diferencial de Temperatura entre as superfícies em°C												
P4 = Parede divisória em madeira												
P1' , P2`e P3' = Vigas de concreto, com altura de 0,32 m												

Tabela C10: Carga por insolação, NBR 16401 (2008).

Carga de insolação(Q sensível)												
Transmissão de Calor do Sol através de superfícies transparentes (vidros)												
Qs = qs x As												
Janelas com vidro (m²)			As (m²)	Fs	I	qs = Fs x I					Qs = qs x As	
	Altura	Comp.									W	BTU/h
J4	1,60	3,80	6,08	0,87	636	553,32					3.364,19	11.478,94
J5	1,60	3,80	6,08	0,87	636	553,32					3.364,19	11.478,94
J6	1,60	3,80	6,08	0,87	636	553,32					3.364,19	11.478,94
											10.092,56	34.436,81
Transmissão de Calor do Sol através de superfícies opacas												
Qfo = qfo x Afo												
qfo = U (α x I x Rse +ΔT)												
Área das Paredes (m²)		Área das janelas	Afo = A-Aj		α	I	Rse	U	ΔT	qfo (W/m²)	Qfo = qfo x Afo	
	(A)	(Aj)									W	BTU/h
P2	29,93	18,24	11,69		0,5	636	0,04	2,28	9,4	50,43	589,57	2.011,67
P2'	3,83		3,83		0,5	636	0,04	3,91	9,4	86,49	331,25	1.130,27
Telhado (m²)												
Larg.	Comp.	A										
10,85	11,97	129,87	129,87		0,5	525	0,04	1,95	9,4	38,81	5.039,78	17.196,23
U = Condutância Térmica dos materiais, W/m².K												
α = Ver Tabela 8, absortividade em função da cor												
I = Valor máximo de Fator Solar referente a 22 de dezembro (verão), em W/m². Tabela 6												
ΔT=Diferencial de Temperatura entre as superfícies em °C												
Rse= Resistência Superficial externa, ver apêndice B, tabela B1 (NBR 16401/2008)											5.960,60	20.338,17
Total parcial>>>											**16.053,16**	**54.774,98**

Tabela C11: Frestas e ventilação, NBR 16401 (2008).

Carga Térmica devido à Infiltração - Frestas												
Qia = Qse + Qsa												
Calor Sensível (Qse)												
Qse = ρ x c x V x ΔT												
ρ	**c**	**ΔT**	V = (infiltração x Volume do recinto) / 3600					**V**		**Qse (W)**		
			Infiltração		Volume do recinto							
1,2	1000	9,4	0,1		366,25		3600	0,01017		114,75711		
ρ = 1,2 kg/m³ (densidade do ar)												
c = 1000 J/kg K (Calor específico do ar)												
V = Volume do ar trocado no ambiente a cada segundo												
ΔT = Diferença de temperatura entre interior e exterior												
Calor Latente (Qsa)												
Qsa= V x ρ x Δh												
Δh: Eex - Ei			**Qsa= V x ρ x Δh**							Qsa (W)	**Qia = Qse + Qsa**	
Eex	Ei	Δh (Kj/Kg)	Δh (J/Kg)	V	ρ						W	BTU/h
87	53	34	34000	0,0102	1,2					415,08	529,84	1.807,85
Eex = Entalpia externa: 87 kj/kg de ar seco												
Ei = Entalpia interna: 53 kj/kg de ar seco												
Total parcial>>>											**529,84**	**1.807,85**
Carga Térmica devido à Ventilação												
Vazão Eficaz												
Vef =(Pz x Fp)+(Az x Fa)												
Pz	Fp	Pz x Fp	Az	Fa	Az x Fa					**Vef**		
39	5	195	129,87	0,6	77,9247					272,9247		
Vef = Vazão eficaz de ar exterior (L/s)												
Pz = Número máximo de pessoas na zona de ventilação												
Fp = Vazão por pessoa, expressa em litros por segundo (L/s*pessoa)												
Az = Área útil ocupada pelas pessoas, expressa em m²												
Fa = Vazão por área útil ocupada (L/s*m²)												
Qia = V x ρ x Δh												
ρ	**Δh**	**Vef**									**W**	**BTU/h**
1,2	34	272,9247									11.135,33	37.994,85
ρ = 1,2 kg/m³ (densidade do ar)												
Vef = Volume do ar trocado no ambiente a cada segundo, para o volume do recinto foi empregado a vazão eficaz (NBR 16401/3)												
Δh = Diferença de entalpia do ar exterior e o ar interior do ambiente:												
Ar externo = Te = 32°C; Umidade Absoluta = 0,021 kg de vapor/kg ar seco→Entalpia = 87 kj/kg de ar seco												
Ar interno = Ti = 25°C; Umidade Absoluta = 0,011 kg de vapor/kg ar seco→Entalpia = 53 kj/kg de ar seco												
Δh = 87 - 53												
Δh = 34												
Total parcial>>>											**11.135,33**	**37.994,85**

Tabela C12: Carga das pessoas e iluminação, NBR 16401 (2008).

Carga das Pessoas													
CSt + CLt													
n		CS		CSt = n x CS		CL		CLt = n x CL			CSt + CLt	
											W	BTU/h
39,00		75,00		2.925,00		55,00		2.145,00			5.070,00	17.299,35
CS = Calor Sensível, W. Taxas típicas de calor liberado por pessoas (tab.C1 parte 1 da NBR 16401)												
SL = Calor Latente, W. Taxas típicas de calor liberado por pessoas (tab.C1 parte 1 da NBR 16401)												
n = n°de ocupantes do ambiente												
Total parcial>>>											**5.070,00**	**17.299,35**
Carga Térmica devido à Iluminação												
QI = Qr + Qi												
Qr = qr x z			Qi = qi x X								Qr + Qi	
qr	z	Qr	qi	x	Qi						W	BTU/h
6,00	20,00	120	32,00	40,00	1.280,00						1.400,00	4.776,94
qr = Perda de energia nos reatores												
z = número de reatores												
qi = Potência das lâmpadas												
x = número de lâmpadas												
A Tab.C2 da NBR 16401 apresenta as taxas típicas de dissipação de calor pela iluminação												
Total parcial>>>											**1.400,00**	**4.776,94**

Tabela C13: Total das cargas, NBR 16401 (2008).

RESUMO		
Tipo de carga	**W**	**BTU/h**
Condução	8.417,58	28.721,61
Insolação	16.053,16	54.774,98
Pessoas	5.070,00	17.299,35
Iluminação	1.400,00	4.776,94
Infiltração - Frestas	529,84	1.807,85
Ventilação	11.135,33	37.994,85
Total da Carga Térmica>>>	**42.605,90**	**145.375,59**